LIBRARY OF THE NEW YORK BOTANICAL GARDEN

ANNALES

DE LA

SCIENCE AGRONOMIQUE

FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

Comité de rédaction des Annales.

Rédacteur en chef :

L. GRANDEAU, directeur de la Station agronomique de l'Est.

U. Gayon, directeur de la Station agronomique de Bordeaux.

Guinon, directeur honoraire de la Station agronomique de Châteauroux.

Margottet, recteur de l'Académie de Lille.

Th. Schlœsing, de l'Institut, professeur à l'Institut national agronomique.

E. Risler, directeur de l'Institut national agronomique.

L. Mangin, docteur ès sciences, professeur au lycée Louis-le-Grand.

A. Müntz, professeur à l'Institut national agronomique.

A. Ronna, membre du Conseil supérieur de l'agriculture.

Ed. Henry, professeur à l'École nationale forestière.

E. Reuss, inspecteur des forêts à Fontainebleau.

Correspondants des Annales pour les colonies et l'étranger.

COLONIES FRANÇAISES.

H. Lecomte, docteur ès sciences, professeur au lycée Saint-Louis.

ALLEMAGNE.

L. Ebermayer, professeur à l'Université de Munich.

J. König, directeur de la Station agronomique de Münster.

Fr. Nobbe, directeur de la Station agronomique de Tharand.

Tollens, professeur à l'Université de Göttingen.

ANGLETERRE.

R. Warington, chimiste du laboratoire de Rothamsted.

Ed. Kinch, professeur de chimie agricole au collège royal d'agriculture de Cirencester.

BELGIQUE.

A. Petermann, directeur de la Station agronomique de l'État (Gembloux).

CANADA.

Dr O. Trudel, à Ottava.

ÉCOSSE.

T. Jamieson, directeur de la Station agronomique d'Aberdeen.

ESPAGNE ET PORTUGAL.

João Motta dâ Prego, à Lisbonne.

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.

E. W. Hilgard, professeur à l'Université de Berkeley (Californie).

HOLLANDE.

A. Mayer, directeur de la Station agronomique de Wageningen.

ITALIE.

A. Cossa, professeur de chimie à l'École d'application des ingénieurs, à Turin.

NORWÈGE ET SUÈDE.

Dr Al. Atterberg, directeur de la Station agronomique et d'essais de semences de Kalmar.

SUISSE.

E. Schultze, directeur du laboratoire agronomique de l'École polytechnique de Zurich.

RUSSIE.

Thoms, directeur de la Station agronomique de Riga.

NOTA. — *Tous les ouvrages adressés* franco *à la Rédaction seront annoncés dans le premier fascicule qui paraîtra après leur arrivée. Il sera, en outre, publié s'il y a lieu, une analyse des ouvrages dont la spécialité rentre dans le cadre des* Annales (*chimie, physique, géologie, minéralogie, physiologie végétale et animale, agriculture, sylviculture, technologie, etc.*).

Tout ce qui concerne la rédaction des Annales de la Science agronomique française et étrangère (*manuscrits, épreuves, correspondance, etc.*) *devra être adressé* franco *à M.* **L. Grandeau**, *rédacteur en chef, 48, rue de Lille, à Paris.*

ANNALES

DE LA

SCIENCE AGRONOMIQUE

FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

ORGANE

DES STATIONS AGRONOMIQUES ET DES LABORATOIRES AGRICOLES

PUBLIÉES

Sous les auspices du Ministère de l'Agriculture

PAR

LOUIS GRANDEAU

DIRECTEUR DE LA STATION AGRONOMIQUE DE L'EST
MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE D'AGRICULTURE
PROFESSEUR AU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS
INSPECTEUR GÉNÉRAL DES STATIONS AGRONOMIQUES
VICE-PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE D'ENCOURAGEMENT A L'AGRICULTURE
MEMBRE DU CONSEIL SUPÉRIEUR DE L'AGRICULTURE

2e SÉRIE — QUATRIÈME ANNÉE — 1898

Tome I.

BERGER-LEVRAULT ET Cie, LIBRAIRES-ÉDITEURS

PARIS
5, RUE DES BEAUX-ARTS

NANCY
18, RUE DES GLACIS

1898

.N5101
1898
t.1

LES FORÊTS

ET LES EAUX SOUTERRAINES

DANS LES RÉGIONS DE PLAINES

PAR

E. HENRY

CHARGÉ DE COURS A L'ÉCOLE NATIONALE FORESTIÈRE

Depuis une cinquantaine d'années surtout, on se plaint, dans l'Europe orientale, d'une diminution notable dans la quantité d'eau fournie par les sources et les rivières. Déjà en 1875, l'Académie des sciences de Vienne s'est occupée de cette question; elle a appelé l'attention sur l'abaissement des eaux du Danube, et les ingénieurs autrichiens ont nommé une commission chargée d'étudier les causes du mal et de proposer les moyens d'y remédier. Cette commission a été unanime à déclarer que la première cause de cette décroissance si nuisible aux intérêts de la navigation, de l'agriculture et de l'industrie était la dévastation des forêts. Il résulte des chiffres recueillis par M. le conseiller Wex et communiqués à la Société de géographie de Vienne en 1875 que, depuis les déboisements considérables qui ont eu lieu dans le demi-siècle précédent, le niveau moyen de l'Elbe et de l'Oder a baissé de 17 pouces, celui du Rhin et de la Vistule de 24 pouces, celui du Danube, à Orsova, de 55 pouces.

Des faits analogues ont été depuis longtemps constatés en Russie. Déjà en 1880, il s'était constitué, à Moscou, une commission pré-

sidée par M. Weinberg pour étudier les causes de la décroissance du niveau des cours d'eau et rechercher l'influence que la destruction des forêts exerce sur le climat, la végétation et le régime des fleuves.

En 1894, M. Venukoff a communiqué à la Société de géographie de Paris[1] quelques renseignements relatifs à la diminution de la quantité d'eau dans les rivières de l'Europe orientale, fait déjà étudié de 1830 à 1840 par M. Kœppen qui en avait attribué la principale cause à la disparition des forêts. En Russie, le Woronesh, sur lequel Pierre le Grand construisit ses premiers navires, est maintenant un simple ruisseau. L'Oka est devenu si peu profond que les bateaux s'échouent très souvent sur ses bancs de sable. La navigation a dû être abandonnée sur le Dniepr, dont la profondeur est réduite à 2 ou 3 pieds. Sur la Volga même, la navigation à vapeur a cessé en de nombreux points, le fleuve ne pouvant plus entraîner les bancs de sable. On a calculé que le volume de ses eaux avait diminué de 24 millions de mètres cubes[2]. En présence de cette situation calamiteuse, le ministre de l'agriculture en Russie, M. Yermoloff, a organisé une expédition scientifique composée de douze spécialistes sous la direction du général de Tillo. Elle doit visiter les sources de la Volga, de la Dvina occidentale, du Dniepr, du Don, de l'Oka et des autres affluents de la Volga et indiquer les mesures les plus convenables pour augmenter la quantité d'eau des sources et surtout pour en rendre l'écoulement plus régulier.

Ce n'est pas seulement le gouvernement qui s'est ému de ce fâcheux état de choses ; beaucoup de membres de l'aristocratie russe, possesseurs d'immenses domaines, diverses sociétés parmi lesquelles on doit citer en première ligne la *Société économique libre,* s'occupent de cette question vitale pour la Russie.

Cette dernière Société entreprit en 1895 une campagne hydrolo-

---

1. Séance du 18 mai 1894.

2. L'*Edimburgh Review* (numéro de janvier 1893), d'où sont extraits ces renseignements, ajoute : « Le mal provient de la destruction des forêts ; la loi par laquelle le gouvernement a interdit l'exploitation désordonnée des bois est arrivée trop tard. Le reboisement est une œuvre de longue haleine et c'est le seul remède à la situation. » (Trad. dans *Revue des Eaux et Forêts,* 1895, p. 507.)

gique dans les forêts qui se trouvent disséminées sur une faible surface de la région dite des *terres noires* ou du *tchernozem*. Cette région que Ruprecht appelle le *continent du tchernozem*, s'étend sur 95 millions d'hectares et forme la plus grande partie de la Russie d'Europe au sud d'une ligne passant par Kiev, Moscou et Kazan. La direction des travaux fut confiée à M. Ototzky. Ces recherches, entreprises avec méthode sur de grandes surfaces et dans des conditions aussi semblables que possible de sol et de relief — les plus propres, par suite, à faire ressortir l'influence du seul élément variable, la présence ou l'absence de la forêt, — forment une contribution importante à l'étude de cette vieille question si ardemment discutée et encore incomplètement élucidée : l'action des forêts sur les nappes souterraines et les sources.

Le département forestier organise, de son côté, des excursions hydrologiques dans les régions où l'asséchement du climat et la diminution des eaux courantes et des sources ont provoqué le plus de plaintes. On sent que la recherche des causes de ce phénomène est d'un intérêt capital pour la Russie d'Europe qui ne reçoit guère plus d'eaux météoriques qu'il n'en faut pour les diverses cultures, puisqu'il n'y tombe que de 20 à 60 centimètres d'eau.

Cette question est connexe, mais distincte, d'une autre, qui donna lieu autrefois à de longues discussions, à de passionnées controverses, mais sur laquelle tout le monde est d'accord aujourd'hui, je veux parler de l'influence des forêts sur le régime des cours d'eau et sur les inondations.

Les crues fortes et subites qui sont les plus désastreuses sont provoquées par les eaux de ruissellement circulant à la surface des terrains imperméables dans les régions accidentées des bassins. Dans les plaines, les eaux des pluies ou des neiges s'infiltrent dans le sol, s'il est perméable, et vont enrichir les nappes souterraines dont les sources sont les émissaires. Si le sol est imperméable, ces eaux restent à l'état stagnant jusqu'à ce qu'elles se soient complètement évaporées ; mais dans les montagnes elles s'écoulent suivant la ligne de plus grande pente avec une vitesse d'autant plus grande que la pente est plus rapide et viennent se déverser dans les ruisseaux en les gonflant très vite et en provoquant des inondations désastreuses.

A la suite de celles de 1856, dont les ravages consternèrent la la France, l'on vit surgir de nombreux écrits sur les moyens à employer pour prévenir le retour de semblables calamités. Parmi ces moyens, celui qui fut préconisé surtout fut le maintien des forêts et le reboisement des versants montagneux imprudemment dénudés.

Il y eut à ce moment une irrésistible poussée de l'opinion publique en faveur du reboisement des montagnes dont les écrits de Fabre, Thury, Surell, Gras, Boussingault, de Gasparin, Becquerel, Clavé (pour ne citer que les plus importants) montraient l'urgente nécessité si l'on voulait, d'une part, empêcher la dégradation du sol sur les pentes des montagnes et la formation des torrents, et, de l'autre, régulariser le régime des cours d'eau et prévenir les inondations. La loi du 28 juillet 1860 sur le reboisement, complétée par celle du 8 juin 1864 sur le regazonnement, fut la conséquence de cette agitation et les remarquables travaux faits depuis 40 ans par l'administration forestière dans les régions les plus dévastées de nos Alpes françaises attestent, par les résultats déjà obtenus et reconnus par tous que c'était là le meilleur moyen à prendre pour arriver au but. Ces résultats sont si nets, si évidents, que les autres nations se sont empressées de nous imiter et de venir étudier chez nous les procédés mis en œuvre avec succès dans les conditions les plus difficiles par l'administration forestière française. Aujourd'hui, ce serait un lieu commun de plaider cette cause ; elle est gagnée. Tout le monde est convaincu que les forêts constituent le meilleur moyen de fixer le sol sur les pentes des montagnes de manière à empêcher le ravinement et la formation des torrents, même après les pluies les plus violentes et sur des terrains meubles ; tout le monde est convaincu aussi que les forêts diminuent le volume d'eau qui arrive au thalweg des bassins dénudés de toute la quantité retenue et évaporée par le dôme de feuillage et la couverture morte qui tapisse le sol et surtout qu'elles ralentissent dans une large mesure et l'écoulement des eaux superficielles et la fonte des neiges de façon que les crues sont moins hautes et moins soudaines.

Dans ce concert, les seules voix discordantes ont été celles de deux ingénieurs des plus distingués, Belgrand et Vallès.

M. Belgrand dit[1] que les forêts ne retardent pas l'écoulement des eaux pluviales, parce qu'il a constaté que les crues des cours d'eau du Morvan, région boisée, ne sont ni moins violentes ni moins rapides que celles qui proviennent de l'Auxois, région déboisée. Ce n'est d'abord pas dans le bassin de la Seine, qui présente une vaste surface avec de très faibles déclivités, qu'il faut chercher des exemples, mais dans les rivières des montagnes telles que les Alpes, les Pyrénées, où le ruissellement est à son maximum d'intensité et où le ralentissement dû à la forêt est le mieux marqué.

Du reste, M. Belgrand a soin d'ajouter que ses observations ne s'appliquent qu'au bassin de la Seine et aux forêts peuplées d'arbres à feuilles caduques. Il est possible, dit-il, que les choses se passent tout autrement dans les régions tropicales où les pluies qui produisent les crues tombent sur des forêts toujours couvertes de feuilles[2].

L'assertion de M. Belgrand, même limitée au bassin de la Seine, est loin d'être inattaquable.

D'abord il pleut beaucoup plus dans le Morvan que dans l'Auxois et, surtout, le relief en pentes raides des montagnes granitiques du Morvan favorise bien plus le ruissellement que celui de l'Auxois, pays formé de coteaux liasiques à pentes douces couronnées de plateaux calcaires.

L'opinion de M. Belgrand s'appuie sur des expériences faites en 1852 sur deux ruisseaux à versants imperméables situés près d'Avallon ; mais ces expériences prêtent le flanc à des critiques tellement sérieuses qu'on ne peut accorder aucune confiance à des conclusions fondées sur de tels résultats[3].

---

1. Voir *La Seine,* par M. Belgrand, p. 396-409.

2. *La Seine,* p. 405.

3. Voir pour ces critiques l'appendice aux *Études expérimentales sur les Inondations,* par MM. Jeandel, Cantegril et Bellaud, agents forestiers, Paris et Nancy, 1862. Ces agents ont tenté aussi de résoudre le problème expérimentalement. Ils ont trouvé que les coefficients généraux d'écoulement superficiel et d'action inondante étaient environ moitié moindres dans les bassins boisés que dans les bassins déboisés. Bien que leur travail ne soit pas encore à l'abri de tout reproche (voir le rapport du maréchal Vaillant à l'Académie des sciences), leur expérience est bien plus probante que celle de M. Belgrand.

Quant à M. Vallès[1], dont l'ouvrage est des plus remarquables en tout ce qui concerne la science de l'ingénieur, il va plus loin encore que son éminent collègue et conclut que les forêts, bien loin d'atténuer et de régulariser les crues, en augmentent, au contraire, l'intensité et la violence, de même qu'elles diminuent, d'après lui, la quantité de pluie annuelle. Ce sont là de purs paradoxes appuyés sur de faux raisonnnements et sur des observations inexactes.

Si ces deux ingénieurs des ponts et chaussées ont cru devoir professer les opinions que nous venons de rapporter, il faut reconnaître que tous ceux de leurs collègues qui ont écrit sur cette question ont soutenu les idées généralement admises[2], et que, depuis 25 ans, il ne s'est plus trouvé personne pour nier l'action bienfaisante des forêts sur la diminution et le ralentissement du ruissellement et, par suite, des inondations, ainsi que sur la régularisation du régime des cours d'eau.

Si l'accord semble donc fait définitivement sur ce point, il ne l'est pas encore sur la question de savoir quelle influence les forêts exercent sur les nappes souterraines et les sources.

Cette question a été très nettement posée dès 1865 par le maréchal Vaillant dans sa célèbre lettre à M. Vallès, l'ingénieur dont le nom est cité plus haut, lettre qui a été le point de départ des études de météorologie forestière. « La très grande estime que j'ai pour vos ouvrages, écrit le maréchal, me fait regretter que vous n'ayez pas encore traité d'une manière spéciale la question qui vient de s'agiter au Sénat, dont s'occupe en ce moment le Corps législatif et que tout récemment M. Becquerel, de l'Institut, a portée devant l'Académie des sciences ; je veux parler de l'influence des forêts comme cause permanente de sécheresse ou d'humidité. Favorisent-elles la naissance et la pérennité des sources ? Fournissent-elles à ces sources plus d'eau que n'en donnerait un terrain cultivé en céréales ou en état de prairie ?... Les forêts sont-elles une cause d'augmentation de la quantité d'eau de pluie qui s'infiltre dans la terre et

1. *Études sur les inondations, leurs causes et leurs effets*, par Vallès, ingénieur en chef des ponts et chaussés, Paris, 1857, et *Nouvelles études sur les inondations*, Paris, 1861.

2. Surell, Cézanne, Conte-Grandchamps, Grœff, Compaing, etc.

qui est utilisée après son infiltration soit directement pour les besoins de la végétation, soit pour la production et la conservation des sources, lesquelles ne sont jamais que le produit de ces eaux de pluie infiltrées et emmagasinées dans des couches supérieures? Voilà ce que je voudrais vous voir examiner. »

L'appel du maréchal Vaillant a été entendu sinon par M. Vallès, du moins par de nombreux *savants* et de nombreux *observateurs*.

La question peut être en effet résolue soit *empiriquement*, par la simple observation de sources tarissant après l'abatage de la forêt, reparaissant avec le reboisement ; soit *scientifiquement*, en déterminant d'abord la quantité de pluie qui tombe en sol nu ou en forêt, tout ce qui est éliminé avant de gagner les nappes souterraines et comparant les volumes de ce qui reste, dans les deux cas, hors bois et sous bois. C'est de l'initiative du maréchal Vaillant que datent les études de météorologie forestière en France ; depuis 30 ans, de nombreuses stations de météorologie forestière ont été fondées : en Allemagne, en Autriche, en Suisse ; leurs recherches ont déjà déterminé un certain nombre des inconnues du problème ; d'autre part, on a fait beaucoup d'observations sur les relations des sources ou des nappes avec l'état boisé, et cependant la question n'est pas encore complètement résolue : il y a des points obscurs. A côté de constatations certaines de sources tarissant par le déboisement, il y a des exemples non moins certains de disparition de sources par le boisement et d'abaissement des nappes souterraines sous les forêts.

Ce serait rendre un réel service à la science que de concilier ces faits en apparence contradictoires et de débrouiller enfin cette question sur laquelle on dispute depuis si longtemps.

Les lignes qui vont suivre n'ont d'autre but que de mettre le lecteur à peu près au courant de ce qu'on sait actuellement et de susciter des recherches ou des observations qui viennent combler cette lacune dans nos connaissances.

Il semble qu'il y ait tout d'abord avantage à se placer dans le cas le plus simple ; donc nous ne nous occuperons pas de l'influence des forêts sur les nappes souterraines ou les sources *en montagne*. C'est cependant là où elles abondent à cause du plus grand nombre de lignes d'affleurement des zones imperméables sur une petite sur-

face, grâce aux accidents du relief, à cause de la plus forte inclinaison des couches, à cause des précipitations atmosphériques plus abondantes, etc.

Mais, en raison même de la pente généralement forte des couches, les eaux souterraines coulent sur leur lit imperméable avec une assez grande vitesse et, à moins qu'on n'ait à comparer deux bassins voisins, l'un boisé, l'autre nu, il est difficile de dégager l'action de la forêt.

C'est dans les régions *de plaines* qu'il convient d'étudier d'abord cette influence.

Sous ce rapport, il serait difficile de trouver un meilleur champ d'études que les immenses steppes de la Russie méridionale. On se fera une idée de la platitude du relief des vastes bassins du Dniepr, du Don ou de la Volga, où ont lieu les recherches hydrologiques russes, en considérant que le point culminant des hauteurs de Valdaï d'où sortent les plus grands fleuves de la Russie d'Europe n'est qu'à 351 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Ces steppes, au milieu desquelles coulent les larges fleuves du Dniepr, du Don, de la Volga, donnent l'illusion d'une vaste mer et les différences de niveau n'atteignent pas 200 mètres.

Une autre circonstance heureuse pour l'étude du phénomène est que, dans toute cette zone où ont porté les recherches hydrologiques, le climat est très sec ; la pluie ou la neige qui tombe dans une année n'y forme pas une couche de plus de 40 centimètres ; c'est, avec la zone des steppes désertes ponto-caspiennes où la hauteur de pluie tombe à moins de 20 centimètres, la région la plus sèche de la Russie. Les forêts y ont été introduites par l'homme ; elles y prospèrent, mais n'y rencontrent que la dose minima d'humidité nécessaire à leur existence ; la zone contiguë qui borde la mer Caspienne et ne reçoit pas plus de 20 centimètres d'eaux météoriques, est trop sèche pour que les forêts puissent y vivre. Dans ces conditions, les modifications des nappes d'eau souterraines s'apprécient évidemment avec plus de facilité que dans les sols gorgés d'eau.

L'expédition dirigée par M. Ototzky fit ses observations et ses sondages dans les gouvernements de Voronej, Kherson et Saratov,

c'est-à-dire dans la région méridionale du tchernozem qui occupe, comme on sait, la plus grande partie de la moitié sud de la Russie.

Le sol de la forêt Chipoff (gouvernement de Voronej) est formé de couches d'argile et de sable reposant sur la craie. Les sables s'y trouvent à 3 niveaux correspondant à autant de nappes aquifères ; mais, tandis que l'eau affleure dans les puits ou sondages de la steppe à 3, 4 ou 5 mètres au-dessous de la surface, dès qu'on entre en forêt il faut creuser à 15 mètres pour la rencontrer ; encore ne la trouve-t-on pas toujours.

Donc la forêt a fait baisser le niveau de la nappe souterraine d'une dizaine de mètres environ.

C'est là un résultat imprévu : on savait bien, par de nombreux dosages, que les couches profondes des sols forestiers sont en été plus sèches que les couches de même niveau dans les sols nus ; mais on n'aurait jamais cru que l'asséchement provoqué par la transpiration des peuplements forestiers pût se faire sentir à de telles profondeurs.

Dans la forêt Noire (gouvernement de Kherson) la sonde a traversé des épaisseurs très variables de löss reposant sur de l'argile noire à la surface de laquelle se trouve le premier niveau d'eau, le moins abondant ; au-dessous de cette argile noire, viennent des sables argileux ou ferrugineux ou ligniteux ayant pour substratum le granit gneissique. Sur ce granit est la deuxième nappe d'eau, beaucoup plus importante que la première. Ici, les faits constatés sont encore plus surprenants que dans la forêt Chipoff, parce qu'ils montrent l'influence de la forêt même quand le niveau supérieur des eaux phréatiques est éloigné de la surface de plus de 10 mètres. Sous la forêt, le plan d'eau se trouve à 4 ou 5 mètres plus bas que sous la steppe ou sous les champs.

Les mesures ont été prises pendant la saison de végétation, du 1er juin au 1er septembre ; c'est l'époque à laquelle l'influence asséchante de la forêt est à son apogée. Il est regrettable qu'elles n'aient pas été reprises une seconde fois, au mois de mars, par exemple, quand le sol forestier a son maximum d'approvisionnement en eau ; mais, écrit M. Ototzky, d'après des observations non encore publiées faites dans le gouvernement d'Iekaterinoslav, à aucun moment, les

eaux phréatiques ne s'élèvent plus haut sous la forêt que sous la steppe.

On avait déjà constaté sur d'autres points un abaissement sensible de la nappe d'eau des pluies à la suite de plantations, par exemple au couvent de Saint-Paul-aux-Trois-Fontaines, dans la campagne de Rome ; mais il s'agit ici d'eucalyptus, c'est-à-dire d'arbres à feuilles persistantes et à transpiration très intense et non de forêts de chênes comme celles où ont eu lieu les recherches russes ; de plus, la nappe d'eau n'était qu'à 50 centimètres au-dessous de la surface.

A ne considérer que l'asséchement superficiel, les exemples abondent, en France et en Algérie, des heureux effets produits à cet égard, soit par les eucalyptus, soit même par d'autres arbres à feuilles persistantes, tels que les pins, beaucoup moins bien doués cependant que les eucalyptus sous le rapport de la transpiration. En dehors du fait si souvent cité du desséchement des lettes des dunes de Gascogne par les pins maritimes, je ne mentionnerai que celui qui a été si bien étudié et décrit par M. d'Arbois de Jubainville[1], parce qu'il vient à l'appui des constatations de M. Ototzky, en montrant que l'asséchement produit par des plantations de pins sylvestres dans une forêt de plaine du nord de la France a pu abaisser assez la nappe d'eau souterraine pour amener le tarissement de plusieurs sources. Il est vrai qu'il est question ici de résineux qui laissent arriver au sol moins de pluie que les arbres à feuilles caduques ; mais, en revanche, ils sont considérés comme évaporant beaucoup moins, ce qui établit une sorte de compensation, et, en fait, on ne voit pas nettement pourquoi et comment les deux sortes de forêts agiraient, comme on l'a soutenu, d'une manière si différente, les feuillues augmentant et régularisant les sources d'après l'opinion généralement adoptée, les résineuses les diminuant et même les tarissant.

Peut-être, les résultats obtenus depuis 1867, dans les diverses stations de météorologie forestière, nous fourniront-ils une explication satisfaisante de ces faits contradictoires. La science peut-elle nous dire aujourd'hui si deux régions de plaines voisines et de structure

1. Voir *Revue des Eaux et Forêts*, 1869, p. 131.

géologique identique, l'une nue, l'autre boisée, différeront dans le volume de leurs eaux souterraines et, au cas de l'affirmative, dans quel sens?

De quoi dépend l'approvisionnement en eaux souterraines dans les régions de plaines?

Des divers facteurs suivants :

De la quantité des eaux météoriques, *a*, qui tombent, soit sur le sol nu, soit sur le sol boisé.

Une certaine portion de ces eaux météoriques (pluie, neige, rosée, givre, etc.) s'évapore soit, *b*, à la surface des végétaux, soit, *c*, à la surface du sol et retourne aussitôt à l'état de vapeur dans l'atmosphère.

Une autre portion, *d*, est absorbée par les racines pour servir à la nutrition ou à la transpiration des végétaux.

Le reste, *e*, est fixé par le sol d'abord à l'état d'eau globulaire et d'eau capillaire ; une fois que les particules du sol sont saturées, même avant, si le sol est sillonné de crevasses, l'excédent s'écoule en obéissant aux lois de la pesanteur et de l'écoulement des liquides et vient se réunir à la surface des couches imperméables pour former les nappes d'eaux souterraines qui alimentent les puits et les sources.

Dans le cas de pentes avec sol imperméable ou demi-perméable, il y aurait à tenir compte des eaux de ruissellement ; mais il n'y en a pas dans les régions de plaines.

Pour déterminer exactement le volume d'eau qui s'infiltre dans les profondeurs, il faut résoudre successivement les questions suivantes :

1° *Pleut-il plus dans les régions boisées que dans les régions déboisées,* toutes autres conditions égales ?

On a maintenant le droit de répondre *oui* à cette question ; car toutes les observations faites dans de bonnes conditions sont concordantes.

Sans parler des faits bien connus rapportés par Boussingault, Blanqui, Becquerel et autres, citons quelques chiffres précis :

L'épaisseur moyenne de la lame d'eau reçue annuellement par le

sol découvert a été de $0^m,80$ à la station des Cinq-Tranchées, au milieu de la forêt de Haye, près de Nancy, et de $0^m,65$ seulement à la station d'Amance, située à la même altitude, à 18 kilomètres de la précédente, dans une région peu boisée.

Ces chiffres sont les moyennes des onze premières années d'observations faites par M. Mathieu, de 1867 à 1877. La moyenne des onze années suivantes (1878 à 1888) a été de $0^m,85$ pour la station forestière de Bellefontaine et de $0^m,69$ pour la station agricole de la Bouzule, toutes deux situées à la même altitude. Enfin pour la période s'étendant de 1889 à 1895, les moyennes de ces deux stations ont été de $0^m,75$ et de $0^m,60$. Donc, depuis 30 ans, les résultats sont toujours concordants; aux environs de Nancy, la lame d'eau qui tombe sur les régions boisées est de $0^m,15$ plus épaisse que celle qui tombe sur les régions agricoles peu boisées.

Ebermayer[1], après avoir constaté que la hauteur d'eau tombant au centre du massif boisé du Spessart était environ d'un tiers plus forte qu'à Aschaffenburg, éloigné seulement de 4 lieues, mais situé à 300 mètres plus bas, conclut de ses observations que le Spessart doit sa plus grande abondance de pluie et de neige à son altitude et à sa situation et que la forêt n'a sur le phénomène qu'une action relativement faible.

M. Fautrat[2] a installé des pluviomètres au-dessus de massifs boisés feuillus ou résineux et d'autres en plein champ, à 300 mètres seulement de la forêt et pendant quatre années consécutives (1874-1877), même à une aussi faible distance, il est tombé plus d'eau sur la forêt, en moyenne $0^m,025$ en plus sur la forêt feuillue et $0^m,057$ sur le massif de résineux.

Enfin, les observations récentes faites en Russie établissent aussi qu'il pleut plus dans les régions boisées et cette constatation offre une importance particulière en Russie, parce que dans la région des steppes où elle a été faite, on ne peut invoquer l'influence de l'alti-

---

1. *Die physikalischen Einwirkungen des Waldes auf Luft und Boden,* par le Dr Ebermayer. Aschaffenburg, 1873, p. 200.

2. Observations météorologiques faites de 1874 à 1878 par M. Fautrat, sous-inspecteur des forêts. Paris, 1878.

tude, des abris, des chaînes de montagne, qui ont, ailleurs, une si grande importance pour la quantité et la répartition des pluies[1].

Du reste, cette condensation plus abondante au-dessus des forêts s'explique par ce fait que les feuilles des arbres évaporent d'énormes quantités d'eau qui rendent plus humides et plus froides les couches d'air qui enveloppent la forêt. Les aéronautes qui passent au-dessus de massifs boisés constatent un refroidissement sensible de l'air. Si des vents plus ou moins chargés de vapeur d'eau viennent heurter ces couches froides et humides, une partie de leur vapeur se condense.

Il est donc reconnu que les forêts attirent les pluies, que, toutes circonstances égales, il pleut plus sur les forêts que sur les régions déboisées[2].

2° *Quelle est la quantité d'eau pluviale que reçoit le sol sous bois et hors bois ?*

Ce point est encore nettement établi, grâce aux nombreuses observations faites en France et en divers autres pays. On comprend que la proportion d'eau interceptée par le dôme de feuillage varie dans de larges limites suivant la nature, la densité, l'âge des peuplements, suivant la durée et l'intensité des pluies.

Voici, par ordre de date, les principaux résultats obtenus.

Les premières observations, faites en 1866 dans la forêt de Fon-

---

1. « Oui, ce fait, établi pour la première fois par l'École forestière de Nancy, que les forêts attirent les pluies, est indubitablement et brillamment confirmé, entre autres, par les travaux les plus nouveaux de notre « Expédition du Département forestier. » (Extrait d'une lettre de M. Ototzky.)

2. Cependant, plusieurs observateurs, entre autres M. Bühler, en Suisse, M. von Lorenz-Libarnau, en Autriche, n'ont pas constaté ce fait. Il est néanmoins incontestable. Ebermayer, qui n'y croyait pas d'abord, l'admet depuis que 16 ans d'observations en terrain plat dans la forêt domaniale de Nuremberg et ses environs lui ont montré que la hauteur de pluie a été, en moyenne, de 12 p. 100 plus grande en forêt qu'en plein champ.

Dans le sud des provinces centrales de l'Inde, les recherches de Blanford ont porté sur un territoire d'environ 61 000 milles carrés anglais. Cette surface, d'abord boisée, fut ensuite déboisée pendant assez longtemps et enfin reboisée, depuis 1875, sur les 5/6 de son étendue. Dans 13 stations différentes, pendant que le reboisement progressait, il y eut une augmentation de chute de pluie d'environ 12 p. 100 aussi.

tainebleau sous la direction du maréchal Vaillant, ont montré que, sous des bois feuillus, le sol recevait les 60 centièmes de l'eau qui tombe sur un sol nu.

M. Becquerel est arrivé au même résultat.

M. Mathieu a trouvé, pour une moyenne de 11 ans (1867 à 1877) 91 centièmes aux Cinq-Tranchées, 83 centièmes à Bellefontaine.

Dans la première station, M. Bartet a obtenu le même rapport pour les 11 années suivantes (1878 à 1888) et pour les 5 années (1891 à 1895).

M. Claudot a retrouvé, à très peu près, le même chiffre, 82 centièmes, pour la station de Bellefontaine.

Au domaine des Barres, M. Gouet a trouvé pour une moyenne de 5 ans (1873 à 1877) 84 centièmes.

M. Fautrat, à Senlis, a constaté que, sous des peuplements à feuilles caduques, le sol forestier avait reçu en moyenne (1875 à 1877) 69 centièmes et sous des peuplements à feuilles persistantes (pins) 50 centièmes seulement de la pluie reçue par un sol nu.

M. Rousseau arrive aussi à un chiffre très voisin du précédent (48 centièmes) pour la proportion de pluie qui arrive au sol sous une forte cépée de chênes verts.

En Allemagne, Ebermayer a trouvé 77 centièmes (moyenne de 6 stations en 1868 et 1869); la moyenne des résultats obtenus dans 16 stations allemandes, en 1883 et 1884, est de 69 centièmes et en 1885 de 71 centièmes.

En Suisse, Bühler obtient, pour moyenne de quatre ans, 73 centièmes dans une station, 89 centièmes dans une autre sous des feuillus et 52 centièmes sous des résineux.

La question de la quantité d'eau interceptée par le feuillage des arbres est résolue par cette multitude d'observations aussi bien qu'elle peut l'être et, à mon avis, c'est perdre son temps que de continuer des recherches dans ce sens.

Les chiffres extrêmes trouvés pour les arbres à feuilles caduques sont 65 et 91, pour les arbres à feuilles persistantes 48 et 52.

Les arbres à feuilles persistantes interceptent donc environ la moitié de l'eau météorique et les arbres à feuilles caduques, de 1 à 3 dixièmes seulement.

3° *Quelle est la quantité d'eau qu'évapore soit un sol nu, soit un sol boisé?*

Sur ce point nous sommes beaucoup moins bien renseignés que sur le précédent; c'est qu'aussi la question est pleine de difficultés. Comment déterminer la quantité d'eau que perdent à chaque instant hors bois et sous bois des sols naturels avec les modifications incessantes qu'amène l'action des agents atmosphériques, des êtres organisés, des nappes souterraines en circulation?

Aussi, s'est-on généralement borné à comparer l'évaporation d'une lame d'eau sous bois et hors bois, ce qui est très facile, mais ce qui ne donne qu'une idée très grossièrement approchée sans doute du phénomène. Comme l'ont montré des expériences comparatives, un sol saturé évapore à peu près autant qu'une nappe d'eau; mais en dehors des très rares moments où le sol est saturé, nous ne savons rien ni sur les quantités absolues d'eau évaporées par un sol nu et par un sol boisé, ni même sur leurs quantités relatives.

Quant à la différence d'évaporation d'une lame d'eau sous bois et hors bois, tous les observateurs arrivent à des résultats concordants. Il s'évapore hors bois de 2,3 fois à 3 fois plus d'eau que sous bois. Le chiffre donné par Mathieu est 3,11 (moyenne de 11 ans, 1867 à 1878), par Bartet 3,22 (moyenne de 11 ans, 1878 à 1888), par Ebermayer 2,7 à 3, par Fautrat 3, par Müttrich 2,3 (moyenne d'observations faites dans 16 stations allemandes).

On peut donc admettre que l'évaporation d'une nappe d'eau est environ 3 fois moins active sous bois qu'en plein air.

Voilà encore un point résolu, et de nouvelles observations n'ajouteront rien à ce résultat; mieux vaudrait, semble-t-il, s'efforcer de résoudre cette question : Quelle est la quantité d'eau qu'évapore un même sol sous bois et hors bois en se plaçant dans des conditions aussi voisines que possible de celles des sols en place. M. Fautrat[1] avait installé dans la forêt d'Ermenonville, en 1878, des expériences fort bien conçues qui auraient pu donner, pour des sols en plaine à nappe souterraine immobile, des résultats assez rapprochés de la réa-

1. *Observations météorologiques faites de 1874 à 1878,* par M. Fautrat. Paris, Imprimerie nationale, 1878, p. 29.

lité ; mais elles ne semblent pas avoir été continuées ; en tous cas, je ne crois pas qu'aucun chiffre ait été publié.

La station suisse de recherches forestières s'est occupée de cette question, mais elle a opéré dans des conditions tellement défectueuses, qu'on ne peut guère tenir compte de ses résultats[1].

On a aussi étudié l'influence de la couverture morte sur l'évaporation du sol. Suivant Ebermayer, elle serait de même grandeur que celle du couvert ; d'où l'on peut admettre qu'un sol boisé couvert de mousse et de feuilles mortes évapore 6 fois moins qu'un sol nu, mais toujours dans l'hypothèse inexacte d'un sol constamment saturé.

4° L'eau qui n'est pas évaporée à la surface du sol pénètre dans ses interstices ; *une fraction est retenue par les particules de terre et d'humus sous forme d'eau d'imbibition ;* une autre est absorbée par les racines pour les besoins de la nutrition et de la transpiration ; le surplus s'écoule dans les profondeurs pour alimenter la nappe souterraine. La première fraction, l'eau d'imbibition, s'apprécie aisément par la dessiccation d'échantillons de sol que l'on peut prendre simultanément dans les sols nus et boisés à des intervalles aussi rapprochés qu'on le veut et à diverses profondeurs.

Puisque l'évaporation est diminuée sous bois dans une proportion qui n'est pas encore déterminée, mais qui est certainement très considérable, la quantité d'eau remontant des couches profondes à la surface, suivant les lois de la capillarité[2], est moindre qu'en plein champ, toutes circonstances égales, de telle sorte que de deux zones également humides situées à égale profondeur dans deux sols identiques, celle du sol forestier devrait garder plus d'humidité. C'est cependant le contraire qu'on observe en été à cause de l'absorption des racines.

---

1. Voir *Mittheilungen der Schweizerischen Centralanstalt für das forstliche Versuchswesen,* par le Dr Anton Bühler, IV. Band. Zurich, 1895, p. 315-323.

2. « La hauteur d'eau soulevée par capillarité, presque nulle dans les graviers, est de $0^m,30$ dans les sables moyens (sables de verrerie), d'environ $0^m,60$ dans les terres argilo-sableuses et on lui a assigné $1^m,50$ et plus dans les argiles et les marnes compactes. » (Daubrée, *les Eaux souterraines.*)

Ainsi, M. Bliznin, cité par M. Ototzky, a trouvé qu'en mai, juin et juillet les couches supérieures du sol de la forêt Noire (gouvernement de Kherson) jusqu'à $1^m,20$ sont plus humides que celles des champs cultivés et qu'au-dessous (de $1^m,20$ à $1^m,50$) elles sont au contraire plus sèches. Les points où ont eu lieu les prélèvements ont été choisis de telle façon, affirme M. Bliznin, que la différence d'humidité ne peut être attribuée qu'à l'influence de la végétation.

D'autres dosages faits aussi en Russie dans le gouvernement de Jekaterinoslav, ont montré qu'en été (de juin à septembre) le sol forestier est, à 9 centimètres de profondeur, toujours plus humide, et, à 70 centimètres, toujours plus sec que le sol découvert.

Dans le parc de l'École forestière à Saint-Pétersbourg, M. Kostytcheff fit, en 1881, des déterminations nombreuses et rigoureuses dans des conditions de sol absolument identiques et toujours il trouva que le taux d'humidité du sol, pris sur $0^m,75$ d'épaisseur, était plus faible en forêt qu'en plein champ, et d'autant plus que le peuplement était plus âgé.

Les observations, prolongées pendant 8 ans par M. Ismaïlsky dans le gouvernement de Poltava, conduisirent encore à ce même résultat.

D'après Ebermayer[1], les sols forestiers, dans la région des racines (40 à 80 centimètres de profondeur), ont été, pendant toute l'année, sensiblement plus secs que les sols nus en plein champ.

Mais tous les observateurs sont d'accord aussi pour reconnaître que les couches superficielles du sol, tant qu'elles ne sont point parcourues en tous sens par les racines, sont plus humides que les mêmes couches dans un champ dépourvu de végétation. En d'autres termes, en été, la couche du sol qui se dessèche le plus est la couche supérieure en terrain découvert, la couche profonde en forêt.

Cette couche profonde s'assèche d'autant plus que la consommation d'eau faite par les arbres est plus grande et que les peuplements retiennent mieux les précipitations atmosphériques (arbres à

1. Article paru dans l'*Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, numéro de janvier 1889, traduit dans les *Annales de la Science agronomique française et étrangère*, 2, t. I, p. 424-454.

feuilles persistantes). En été, ce drainage par les racines est si intense que même à la suite de grandes pluies le sol couvert de plantes agricoles ou forestières ne donne pas d'eau d'infiltration.

C'est en hiver que le sol refait sa provision d'eau ; c'est au printemps, avant le réveil de la végétation, qu'il a son maximum d'humidité.

La quantité d'eau d'imbibition retenue par le sol varie énormément suivant diverses circonstances, notamment la grosseur des particules, la proximité de la nappe aquifère. On trouve souvent pour la moyenne annuelle du taux d'eau d'une même couche 12 à 18 p. 100 en poids. On a calculé qu'à Eberswalde, où il tombe 60 centimètres d'eau par an, une couche de sol sablonneux de 7 à 8 mètres ou une couche de lehm de 3 à 4 mètres contient une quantité d'eau égale à celle qui tombe dans l'année.

La détermination de la quantité d'eau retenue par le sol peut se faire avec autant de précision que l'on veut à l'aide de prises d'échantillon.

5° *Quelle est la quantité d'eau absorbée par les racines?*

Celle-là n'est pas susceptible d'une détermination directe. On l'obtient indirectement en mesurant les quantités d'eau reçues par le sol des vases en expérience et perdues par l'évaporation du sol et l'infiltration ; la différence représente l'eau qui a été absorbée par la plante pour sa nutrition et sa transpiration. On applique aux végétaux croissant librement dans les sols naturels les chiffres obtenus sur ces plantes en pots installées dans des sols artificiels ; il est probable que les choses ne s'y passent pas absolument comme dans la nature. Et dans la nature, l'eau consommée par un même arbre varie évidemment dans de larges limites d'une année à l'autre, suivant diverses circonstances dont les principales sont l'abondance et la répartition des pluies, les conditions de température. On ne peut donc obtenir que des chiffres approximatifs.

Mais tous les savants qui se sont occupés de ces recherches s'accordent à affirmer que les quantités d'eau ainsi utilisées sont très considérables.

Wollny a trouvé pour six plantes agricoles (trèfle, orge, avoine,

seigle, fèves, pois) de 3 700 000 à 4 500 000 kilogr. pour les quantités d'eau absorbées par hectare, du 20 avril à la fin d'août ou de septembre; les quantités de pluie reçues par le sol dans le même temps ont varié de 3 500 000 à 6 500 000 kilogr. ; elles ont été, dans trois cas, égales, et, dans deux cas, supérieures de 500 000 kilogr. seulement aux quantités absorbées par les récoltes.

Von Höhnel[1] a fait pendant trois ans (1878 à 1880) des expériences sur les végétaux forestiers et il en conclut qu'un massif plein de hêtres de 115 ans absorbe de 3 500 000 à 5 400 000 kilogr. d'eau, c'est-à-dire à peu près autant ou, en tous cas, guère plus qu'une récolte agricole ; si l'hectare est peuplé de 1 300 tiges de 50 à 60 ans, l'évaporation ne sera plus que de 2 300 000 kilogr. et de 700 000 pour un hectare avec 4 000 tiges de 35 ans.

Th. Hartig[2] a trouvé des chiffres beaucoup plus élevés; au lieu d'une lame d'eau de 35 à 54 centimètres, il en faudrait une de $1^{m},02$ pour les besoins annuels en eau d'un peuplement plein.

Il est certain en tous cas qu'à surface égale les végétaux forestiers évaporent beaucoup moins que les plantes agricoles. M. Risler[3], à la suite de recherches faites en 1870 et 1871, a constaté que l'évaporation moyenne du chêne est huit fois moindre que celle de la luzerne, quatre fois moindre que celle du chou, trois fois moindre que celle du blé et du gazon.

Il a reconnu aussi qu'un hectare de forêt évapore plus d'eau qu'un champ nu et inculte de même surface, mais environ trois fois moins qu'un hectare de terrain garni de plantes fourragères (luzerne, trèfle, graminées).

On voit que les résultats trouvés par un même expérimentateur (Höhnel) pour les besoins en eau d'un hectare de forêt varient énormément suivant l'âge du peuplement ; ils varient énormément aussi suivant les auteurs ; enfin les chiffres de Höhnel et Wollny, de la comparaison desquels il résulte que la forêt évapore en général

---

1. *Centralblatt für das gesammte Forstwesen,* 1884, Wien, p. 387-409.

2. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung,* 1878, p. 3, et *Botanische Zeitung,* 1861, p. 20.

3. Biedermann, *Centralblatt für Agrikulturchemie,* 1872, p. 160.

moins qu'une récolte agricole, comme le soutient aussi Risler, ne s'accordent pas avec les observations faites en Russie.

Comment expliquer si la forêt transpire trois fois moins d'eau que le gazon, si, d'autre part, l'évaporation du sol, cause importante de perte d'eau, est bien moindre qu'en sol découvert, que la nappe souterraine y soit si pauvrement alimentée ?

Il semble donc que jusqu'ici on ne puisse accorder grande confiance aux chiffres donnés. S'il est facile de déterminer par des pesées l'évaporation d'un arbuste en pot ou d'un carré de jeunes plants forestiers, de gazon ou de blé, si l'on peut, à la rigueur, calculer, d'après ces résultats, sans craindre de trop forts écarts, l'évaporation d'un hectare plein de gazon ou de blé ou de jeunes plants forestiers de même hauteur, il est par trop téméraire d'étendre les résultats obtenus sur un arbuste isolé cultivé en pot à une forêt comportant plusieurs étages d'arbres enchevêtrés et superposés dont les feuilles, plus ou moins ombragées, fonctionnent avec des intensités très différentes.

Ce qu'on peut affirmer, c'est que la forêt absorbe d'énormes quantités d'eau dont une très faible partie seulement est fixée dans les tissus des arbres. Cette faible portion peut être exactement déterminée. On sait depuis les recherches des stations bavaroises qu'une forêt pleine produit annuellement 6 000 kilogr. environ de matière organique desséchée à 100° : cette matière organique est formée à très peu près pour moitié de carbone et pour moitié d'eau. Ainsi sur un ou plusieurs millions de kilogrammes d'eau qui passent à travers le corps ligneux des arbres, 3 000 seulement sont fixés.

Dans l'état actuel de la science il n'est donc pas possible de déterminer, par différence, d'une manière suffisamment approchée, le volume d'eau qui vient alimenter les nappes souterraines, parce que si l'on connaît exactement le volume des eaux météoriques, celui qui est intercepté par les feuilles, celui qui est retenu par le sol et celui qui est fixé par les arbres, on n'a pas de résultats assez précis sur deux facteurs des plus importants, l'évaporation du sol sous bois et hors bois et la transpiration des arbres.

Malgré la grande imprécision de certaines données, essayons, à titre d'indication vague, d'évaluer, à l'aide des renseignements four-

nis par la météorologie forestière, la quantité d'eau qui vient alimenter la nappe souterraine sous les forêts du tchernozem.

La hauteur de pluie ne dépasse pas 40 centimètres dont il arrive au sol les 9 dixièmes au plus, soit 36 centimètres.

L'atmidomètre à l'air libre évapore à Nancy les 63 centièmes de l'eau qu'il a reçue ; admettons que la proportion soit la même en Russie et que, grâce à la forêt et à sa couverture, l'évaporation soit six fois moindre en forêt ; il faut déduire encore de ce chef 4 centimètres. Les 32 centimètres qui restent forment un volume d'eau qui, d'après les chiffres ci-dessus de von Höhnel, est intermédiaire entre ce qu'absorbe un peuplement de hêtre de 50 à 60 ans et un vieux massif de 115 ans.

La forêt utiliserait donc toutes ou presque toutes les eaux tombées.

Mais on peut chercher à résoudre le problème directement en déterminant par l'expérience la quantité des eaux d'infiltration qui passent à travers les sols. On remplit de grandes cases de $1^{m},20$ de profondeur avec des sols divers garnis de récoltes variées et on mesure l'eau de drainage qui s'écoule ; on établit, en un mot, ce que l'on appelle des lysimètres.

Ebermayer[1] a rempli 5 cases étanches ayant chacune 4 mètres carrés et $1^{m},20$ de profondeur avec des sols divers et nus et il a mesuré pendant 4 ans (1881-1884) l'eau qui tombait sur ces cases et celle qui s'en échappait.

Pour du sable pur à gros grain, dont plus des trois quarts était formé de grains de plus d'un millimètre, le rapport moyen de l'eau de drainage à l'eau de pluie pour ces 4 années a été de 86 p. 100.

Il a été de 107 p. 100 pour du sable rouge fin et pur dont les 9 dixièmes étaient formés de grains ne dépassant pas un demi-millimètre ; de 94 p. 100 pour du lehm pur à grains fins, de 43 p. 100 pour du sable calcaire dont plus de moitié était formé de grains d'un millimètre et au-dessus, et de 39 p. 100 pour de la terre noire tourbeuse, qui de tous les sols connus retient le plus d'eau et en évapore le plus.

---

1. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 1890, p. 125-130.

Ces résultats ont été obtenus à Munich avec une chute d'eau annuelle moyenne de 932 millimètres.

Si le sable fin donne plus d'eau qu'il n'en reçoit (fait paradoxal en apparence), cela tient à la grande condensation de vapeur d'eau qui se fait dans sa masse, comme le démontre Ebermayer.

Mais il s'agit ici de sols nus et il nous faudrait avoir des renseignements sur les eaux qui s'écoulent de sols garnis de végétation. Les seuls que nous possédions sont encore dus à Ebermayer et à Wollny.

Ce dernier a trouvé[1] que dans un sol sablonneux ou tourbeux le volume de l'eau de drainage sous le gazon se réduit au cinquième de ce qu'il est sous le sol en friche. Sous une place couverte de plants forestiers (épicéas, bouleaux) ou de plantes herbacées (trèfle), il ne filtre, dans le cours du semestre d'été, à travers un mètre de sol, ou pas du tout d'eau ou seulement quelque peu par intermittence, tandis que, sous le même sol nu, on constate une augmentation continue de l'eau de drainage, proportionnellement à la quantité de pluie[2].

Les chiffres d'Ebermayer[3] ne sont pas concluants, parce qu'il a employé une terre de jardin fine, riche en humus, soigneusement pilonnée, qui ne laissait passer qu'une quantité d'eau insignifiante, même sous le sol nu.

Sur ce point encore, les données fournies par l'expérimentation sont bien incomplètes ; on conçoit que l'on puisse cependant arriver à des résultats suffisamment approchés pour les cultures agricoles reproduisant assez bien dans des cases de végétation l'aspect qu'elles présentent en plein champ ; mais il semble difficile d'installer des expériences concluantes pouvant s'appliquer à la forêt naturelle.

Donc, dans l'état actuel de la science, les constatations directes, telles que celles de M. Ototzky faites sur divers points de la vaste région des steppes russes dans des conditions géologiques et topo-

---

1. *Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik*, t. XI, 1888, p. 58.

2. Voir *Forstliche und naturwissenschaftliche Zeitschrift*, 1896, p. 460.

3. Voir *Annales de la Science agronomique française et étrangère*, 1889, t. I, p. 435.

graphiques aussi identiques que possible, peuvent jeter seules quelque jour sur cette question si controversée de l'influence des forêts sur les eaux souterraines.

Il n'y a pas d'expériences en cases qui vaillent celles-là.

En somme, jusqu'alors, tant d'après les observations des savants russes que d'après celles qui ont été faites dans la forêt de Saint-Amand (département du Nord), dans la campagne de Rome et en divers points d'Allemagne, on est obligé de reconnaître que la forêt, *dans les régions de plaines,* ne semble pas favoriser l'alimentation de la nappe souterraine et par suite des sources.

En 1889, Ebermayer concluait de ses recherches que, « comparée à un terrain nu, non cultivé, la forêt diminue l'alimentation des sources, mais qu'elle y contribue cependant plus que les prairies, les pâturages, les champs de trèfle, etc. ».

« On organise en ce moment en Russie, écrit M. Ototzky, une expédition spéciale pour des études ininterrompues et détaillées sur le régime de l'humidité et des eaux du terrain dans plusieurs points de la Russie et dans différentes conditions physico-géographiques. » Si les résultats de cette expédition confirment ceux déjà obtenus par M. Ototzky, il faudra bien faire un pas de plus qu'Ebermayer et admettre que la forêt contribue moins à l'alimentation de la nappe souterraine que les prairies et les cultures, puisque le niveau des eaux phréatiques en forêt est constamment inférieur à leur niveau sous la steppe cultivée du tchernozem.

Conclusions.

Jusqu'à preuve contraire, je crois qu'on peut résumer l'influence des forêts sur les eaux souterraines dans les deux propositions suivantes :

1° Dans les régions de plaines et, d'une manière générale, partout où il n'y a pas de ruissellement, fût-ce en montagne, la forêt contribue moins à l'alimentation de la nappe souterraine que le sol nu et même que n'importe quelle autre culture.

2° Partout où se constatent des eaux de ruissellement, donc surtout dans les régions montagneuses où les pentes sont fortes, les

pluies et neiges abondantes, la forêt augmente la nappe souterraine de toute la quantité qu'elle soustrait au ruissellement et cette portion peut très bien dépasser, dans le cours d'une année, ce que la forêt extrait en plus que les autres cultures de la provision souterraine pour satisfaire à sa transpiration.

ÉTUDE

DE

QUELQUES VINS MALADES

PAR

E. KAYSER et G. BARBA

Tout vin, si sain qu'il soit, contient encore en solution des substances fermentescibles et, dès lors, il est toujours susceptible de subir le sort de toutes les infusions organiques, lorsque les conditions deviennent favorables au développement des êtres microscopiques qui y sont toujours présents.

Les causes de l'altération du vin sont diverses et les modifications portent tantôt sur l'alcool ou la glycérine, tantôt sur les acides à l'état libre ou combiné, ce qui veut dire que le vin peut être le siège de nombreuses fermentations.

Nous savons de plus que l'arome, le bouquet, la saveur des vins sont très fugitifs, et que, de ce fait encore, le vin est sujet à des transformations continuelles et nous comprenons aisément que, par suite de la destruction de l'équilibre pondéré existant entre les différents éléments, par suite de la diminution ou même de la disparition complète de l'un d'eux, il y ait des viciations de goût plus ou moins prononcées.

Ces viciations vont en s'accusant peu à peu, parce que la cause qui les a produites est d'ordinaire une cause vivante.

C'est Pasteur qui nous a montré que la maladie du vin devait être,

dans la majorité des cas, attribuée à des ferments de maladie qu'il est facile de retrouver par simple examen microscopique d'une gouttelette prise au fond d'une bouteille ou encore dans la lie d'un tonneau.

On sait que cette découverte de Pasteur a été très féconde ; malheureusement, la culture de ces êtres est excessivement difficile, il leur faut un milieu approprié, de bonnes conditions de température et souvent beaucoup de temps pour se développer.

Jusqu'à présent nous n'avons guère réussi leur culture, en milieux artificiels, excepté pour quelques-uns, tel le ferment mannitique ; nous n'avons donc pu connaître leurs exigences, leurs besoins alimentaires d'une façon un peu précise.

Cette étude si intéressante nous permettrait probablement de mieux prévenir certaines maladies et, par des pratiques de cave appropriées, nous mettrait à même, soit de les éviter, soit de les combattre efficacement.

Nos moyens actuels, nullement à dédaigner, sont l'ouillage, le collage, la filtration, le méchage, le soutirage, enfin la pasteurisation.

En attendant, nous devons nous borner à grouper le plus grand nombre de faits, pour tirer de cet ensemble quelques indications sur les besoins de ces microorganismes.

C'est là le but de cette courte étude ; elle a été faite avec cinq vins rouges du Gard, reconnus malades et provenant de la récolte de 1893, année où la vendange a eu lieu par une chaleur excessive ; on y a ajouté un vin malade de la récolte de 1895.

Ces vins ont été dégustés et examinés microscopiquement et chimiquement ; nous allons résumer les résultats obtenus, en étudiant chaque vin séparément.

Nos recherches ont porté sur l'alcool, la glycérine, la crème de tartre et les acides : ce sont surtout les acides volatils qui ont fait l'objet d'une étude approfondie.

Les recherches de M. Duclaux nous ont montré que la proportion et la nature des divers acides peuvent servir à la distinction des vins malades ; les expériences de M. Gayon nous ont appris que leur proportion dans les vins sains ne doit pas dépasser 1 gr. par litre.

Ces divers éléments ont été dosés d'après les méthodes usuelles : l'alcool au compte-gouttes, la glycérine d'après la méthode Pasteur, la crème d'après la méthode de MM. Berthelot et Fleurieu, les acides volatils par la méthode de M. Duclaux, l'acidité totale directement à l'eau de chaux.

L'acide acétique est un produit constant de la fermentation alcoolique, c'est donc lui qu'on retrouvait plus ou moins mélangé avec d'autres acides.

Une première distillation du vin aux 10/11 nous renseignait sur les mélanges présents. (Tableau A.)

Les nombres fournis par la distillation et traduits sous forme de courbe nous faisaient voir s'il y avait coïncidence avec les courbes relatives aux acides purs ou non, et, dans ce dernier cas, entre quelles courbes se plaçait la courbe correspondante ; en combinant convenablement les chiffres trouvés, on peut alors trouver la combinaison des acides à laquelle on a affaire et connaître leur proportion.

Les acides les plus fréquents ici sont l'acide acétique, l'acide propionique, l'aide butyrique et l'acide formique.

L'acide butyrique se reconnaît aisément à son odeur et passe dans les premières prises ; l'acide formique, par contre, passe dans les dernières prises et peut être révélé par son action sur le nitrate d'argent.

C'est l'acide propionique qui est un des plus difficiles à reconnaître ; les nombres obtenus avec lui se confondent à peu près exactement avec ceux correspondant à un mélange à équivalents égaux d'acide acétique et d'acide butyrique, avec lesquels on est exposé à le confondre.

M. Duclaux nous a montré le moyen d'éviter l'indécision, c'est de distiller à moitié la liqueur sur laquelle on a des doutes et d'en recueillir séparément les deux moitiés ; on peut ainsi concentrer l'un des acides, soit dans les premières portions, soit dans les dernières.

C'est dans ce but que nous avons amené les premiers 50 centimètres cubes de notre distillation du vin aux 10/11, à 110 centimètres cubes que nous avons soumis à la distillation fractionnée ; nous avons ainsi obtenu les rapports du tableau B, donnant pour les diverses prises les centièmes de l'acide passé dans les 100 centimètres cubes

de liquide recueilli ; le tableau B nous a servi à confirmer les résultats révélés par la première distillation et indiqués par le tableau A.

Enfin, le tableau C a été obtenu en amenant les 10 centimètres cubes du résidu de la première distillation à 110 et en établissant les mêmes rapports que dans les tableaux A et B ; il montre la présence d'acide formique dans tous les vins, confirmée de plus par la réaction au nitrate d'argent.

Ces préliminaires posés, voyons les résultats de l'analyse, qui sont rapportés au litre ; les acidités totales et fixes sont exprimées en acide sulfurique, l'acidité volatile en acide acétique.

Vin I.

Alcool	83gr,0
Glycérine.	2 ,15
Tartre.	traces
Acidité totale	5 ,360
— fixe.	2 ,584
— volatile	3 ,430

Ce vin, d'une teinte de rancio brun, avait une odeur assez pénétrante et était d'un goût acide et plat.

Au microscope, on y voyait des bâtonnets assez gros en chapelets et surtout des bacilles très allongés, plus minces, plus ou moins articulés.

La teneur en alcool était relativement faible, l'acidité totale forte, ce qui était surtout dû à l'acidité volatile.

	RAPPORTS		
	A.	B.	C.
10 centimètres cubes . . .	8.8	9.9	6.8
20 — . . .	17.7	19.6	13.7
30 — . . .	26.8	29.2	21.3
40 — . . .	35.8	38.5	30.4
50 — . . .	45.2	48.0	39.0
60 — . . .	54.7	57.6	48.1
70 — . . .	64.6	67.9	58.0
80 — . . .	75.2	78.8	69.1
90 — . . .	86.4	92.9	82.9
100 — . . .	100.0	100.0	100.0

Ces nombres nous fournissent les rapports suivants pour les trois distillations :

$$\frac{1 \text{ Acide propionique}}{3 \text{ Acide acétique}}, \quad \frac{1 \text{ Acide propionique}}{1.2 \text{ Acide acétique}}, \quad \frac{1 \text{ Acide formique}}{2 \text{ Acide acétique}}.$$

Nous désignerons, dans la suite, l'acide propionique par la lettre *p*, l'acide acétique par la lettre *a* et l'acide formique par la lettre *f*.

On voit que l'effet de la distillation B a été de concentrer davantage l'acide propionique, et la distillation C nous montrait surtout la présence de l'acide formique qui est l'acide le moins volatil.

Vin II.

Alcool	67gr,00
Glycérine.	2 ,32
Tartre.	traces
Acidité totale	4 ,515
— fixe.	1 ,309
— volatile	4 ,100

Ce vin avait les caractères suivants : teinte rancio brun, aspect trouble, odeur agréable, mais goût plat et acide.

Le microscope révélait la présence d'un bacille assez trappu, présentant des chapelets, puis un autre plus fin et plus long.

Ce vin ressemble beaucoup au précédent, il en diffère seulement par une teneur moindre en alcool et en acidité ; nous trouvons cependant des différences par l'étude des acides volatils.

	RAPPORTS		
	A.	B.	C.
10 centimètres cubes . . .	8.2	9.1	6.8
20 — . . .	16.6	18.3	13.0
30 — . . .	25.3	27.5	21.2
40 — . . .	34.3	36.8	29.3
50 — . . .	43.5	46.3	37.7
60 — . . .	53.0	56.0	47.0
70 — . . .	63.0	65.9	57.1
80 — . . .	76.0	76.4	68.6
90 — . . .	85.6	87.4	82.1
100 — . . .	100.0	100.0	100.0

Ce qui donne les rapports suivants :

$$\frac{1\,p}{5\,a}, \quad \frac{1\,p}{2\,a}, \quad \frac{1\,f}{1\,a}.$$

Nous voyons qu'ici la quantité d'acide propionique est un peu plus faible, celle d'acide formique par contre, plus forte.

Vin III.

Alcool		88gr,0
Glycérine		3 ,64
Tartre		traces
Acidité totale	précipité	7 ,697
	au papier de tournesol	9 ,460
— fixe		0 ,995
— volatile		10 ,450

La teinte du vin était rancio madère, dépôt abondant de matières colorantes, odeur acide, goût acide et de souris.

Au microscope, on trouvait des globules de levure et des bâtonnets au fond de la bouteille.

Ce vin montrait une teneur en alcool et en glycérine plus élevée que les deux précédents, mais son acidité était aussi plus élevée.

Nous voyons de plus qu'il y a une différence assez notable entre le nombre indiquant l'acidité totale par suite de l'apparition du précipité et celui trouvé en se servant de papier de tournesol comme indicateur.

Ce vin III montrait un fort dépôt de matière colorante tout autour de la bouteille.

Nous savons que cette matière colorante est soluble dans l'eau acidulée, bien que ceci ait été nié par Neubauer, qu'elle est encore plus soluble dans l'alcool. Sa teinte varie d'ailleurs avec l'acide présent, c'est ainsi que l'acide tartrique donne une plus belle coloration que l'acide malique.

Mais cette matière colorante est dans un état de transformation continuelle et sa teinte varie encore avec le degré d'oxydation qui l'atteint, modification dont on peut bien se rendre compte, comme l'a fait M. Duclaux, à l'aide du spectroscope.

On comprend dès lors que ses propriétés peuvent changer complètement ; si la proportion d'alcool et d'acide sont convenables, le vin peut renfermer de la matière colorante oxydée, sans qu'elle se dépose ; de plus, la moindre modification peut détruire l'état d'équilibre existant, plus ou moins vite selon le degré de dégradation qu'elle affecte.

En d'autres mots, nous comprenons que l'addition d'eau de chaux lors du titrage puisse amener sa précipitation, sans que le vin soit devenu neutre, c'est ce qui est arrivé avec notre vin III, encore nettement acide, malgré un précipité abondant; ceci prouve que l'apparition du précipité ne peut servir dans tous les cas à indiquer la neutralité du vin.

Nous avions pensé que la présence de notables quantités d'acides volatils, surtout d'acide propionique et d'acide formique, pouvait contribuer à ce fait.

C'est pourquoi nous avons titré l'acidité de différents autres vins dans lesquels la matière colorante était également un peu dégradée, en nous servant de différents indicateurs : papier de tournesol, teinture de tournesol, phénolphtaléine, orcine, orangé Poirrier n° 3 et formation du précipité.

Nous avons ainsi pu constater, ce qu'on pouvait prévoir, que les différents indicateurs ne se comportaient pas de la même façon vis-à-vis d'un même vin, de plus, qu'ils ne conservaient pas le même rang pour différents vins ; mais cependant avec l'orcine on trouvait en général 1 à 1^{cc},5 d'eau de chaux en moins à verser pour 10 centimètres cubes de vin.

L'addition d'un peu d'acide propionique à deux vins a montré une concordance absolue entre la formation du précipité et la neutralité au papier de tournesol ; ce n'est donc pas cet acide qui intervenait dans la précipitation de la matière colorante, du moins il ne semble pas exercer une action immédiate sur la formation du précipité.

	RAPPORTS		
	A.	B.	C.
10 centimètres cubes . . .	8.6	8.0	6.5
20 — . . .	16.8	16.6	13.6
30 — . . .	24.9	25.4	20.8
40 — . . .	33.8	34.3	28.8
50 — . . .	42.7	43.4	37.5
60 — . . .	52.1	53.3	46.7
70 — . . .	62.3	63.1	56.5
80 — . . .	73.4	73.7	67.8
90 — . . .	86.0	85.7	85.4
100 — . . .	100.0	100.0	100.0

Ce qui donne les rapports suivants :

$$\frac{1\,p}{7.5\,a}, \quad \frac{1\,p}{5\,a}, \quad \frac{1\,f}{1\,a}.$$

Nous voyons que l'acide formique est en proportions notables; en appliquant les lois trouvées par M. Duclaux pour la distillation des acides volatils, nous trouvons que les 10gr,450 d'acides volatils exprimés en acide acétique se composent de :

Acide acétique.	6gr,36 par litre.
— propionique	0 ,63 —
— formique	2 ,60 —

M. Khoudabachian nous a montré que les vins de raisins secs pouvaient contenir de notables quantités d'acide formique, nous voyons que certains vins malades sont dans le même cas.

Nous avons dit plus haut que le vin avait un goût de souris; on sait que c'est là un défaut des vins ayant eu un peu de piqûre par suite de mauvaises conditions de fermentation (température trop élevée, accès facile de l'air) et laissés ensuite dans des endroits chauds sur lies ; ce sont surtout les vins pas trop riches en alcool qui sont ainsi exposés à cette affection due la formation d'éthanamide; la levure en se décomposant donne naissance à des composés ammoniacaux qui entrent en combinaison avec l'acide acétique ; de plus, on comprend qu'à la suite de ces premières décompositions, les ferments de maladie trouveront un champ facile pour pousser plus loin la dégradation des matières ternaires et quaternaires, c'est ce qui est arrivé avec notre vin III.

Vin IV.

Alcool		89gr,00
Glycérine		1 ,72
Tartre		traces
Acidité totale	précipité. .	5 ,491
	papier. . .	7 ,104
— fixe		3 ,249
— volatile.		4 ,760

Le vin avait une teinte rancio jaune, une odeur et un goût de sou-

ris très prononcés ; nous connaissons par le vin précédent la cause de ce grave défaut.

Le microscope montrait de nouveau la présence de filaments angulaires, quelques-uns en chapelets au milieu de forts dépôts de matières colorantes.

Ce vin se rapproche sous certains rapports du précédent ; toutefois, son acidité fixe est plus forte, ce qui tient surtout à ce que l'acidité volatile est plus faible.

	RAPPORTS		
	A.	B.	C.
10 centimètres cubes . . .	8.2	8.7	6.7
20 — . . .	16.9	17.6	14.0
30 — . . .	25.5	26.7	21.8
40 — . . .	34.6	35.9	30.0
50 — . . .	43.7	45.4	38.5
60 — . . .	53.4	55.0	47.7
70 — . . .	63.4	64.9	57.9
80 — . . .	74.2	75.3	69.2
90 — . . .	86.0	86.8	82.5
100 — . . .	100.0	100.0	100.0

Ce qui donne les proportions suivantes :

$$\frac{1\,p}{5\,a},\quad \frac{1\,p}{3\,a},\quad \frac{1\,f}{2\,a}.$$

Nous voyons que la quantité d'acide formique est un peu plus faible et la quantité d'acide propionique un peu plus forte que dans le vin III.

Si nous jetons maintenant un coup d'œil d'ensemble sur ces quatre vins, nous constatons que tous étaient privés de tartre ; on en peut conclure qu'ils renfermaient tous à un moment donné un des ferments du tartre, mais ceci n'empêche pas que d'autres ferments aient pu intervenir à d'autres moments.

Nous savons que les ferments qui peuvent attaquer l'acide tartrique sont assez nombreux ; celui décrit par L. Pasteur fait, avec le tartrate de chaux, de l'acide propionique, de l'acide acétique, de l'acide carbonique et de l'hydrogène ; celui décrit par M. Gauthier donne de l'acide tartronique, des acides lactique et acétique ; celui

de M. Fitz, de l'acide acétique et butyrique ; celui de König, de l'acide succinique, de l'acide acétique et formique, celui de M. Grimbert donne de l'acide acétique et succinique.

Nous voyons que nous retrouvons ici nos trois acides volatils ; nous regrettons que la quantité de vin dont nous disposions n'ait pas été suffisante pour rechercher les acides fixes, nous devons cependant ajouter que l'acide malique peut donner naissance aux mêmes produits que l'acide tartrique.

Peu importe d'ailleurs, nous avons là quelques caractères qui permettent d'affirmer que nos vins étaient affectés de ce que l'on est convenu d'appeler maladie du tartre ou maladie de la pousse ; la présence de CO^2 peut parfaitement passer inaperçue, lorsque, par suite de conditions particulières, comme, par exemple, l'exposition au laboratoire à une température atteignant quelquefois jusqu'à 25°, le microbe arrête son action destructive.

Nous avons vu que les proportions de glycérine étaient relativement faibles, mais nous savons que le dosage de cet élément est délicat et souvent incertain ; rien ne nous dit d'ailleurs que, dans certaines conditions, cette glycérine ne puisse devenir ou être devenue la proie des microbes trouvés dans ces différents vins, d'autant plus que nous savons, pour ne citer que ces deux exemples, que le ferment de l'amertume et le *B. ethaceticus* de M. Percy-Frankland peuvent attaquer cette matière ; pour ces diverses raisons, il convient de ne pas attacher trop d'importance aux proportions de glycérine qui d'ailleurs varient d'un vin sain à l'autre et dépendent beaucoup des conditions dans lesquelles s'effectue la fermentation secondaire du vin.

Vin V.

	1re ANALYSE.	2e ANALYSE (8 mois après).
	gr.	gr.
Alcool	117,0	»
Glycérine	4,74	»
Tartre	2,387	0,450
Acidité totale	6,794	6,700
— fixe	3,252	3,727
— volatile	4,400	3,670

Comme nous avions une plus forte quantité de ce vin, nous en avons pu faire une nouvelle étude, en ce qui concerne les acides et le tartre, au bout de 8 mois de conservation dans un endroit où la température a varié de 10° à 18° ; ce vin, bien que débouché, c'est-à-dire dans une bouteille vide aux trois quarts, n'avait pas traces de fleurs de vin ni de vinaigre ; il s'était bien conservé, bien que son goût ait un peu changé.

A la première dégustation, il était d'un rouge assez vif, d'une bonne odeur de madère, mais avait un goût assez parfumé et acide ; il montrait un fort dépôt de matières colorantes sur la bouteille.

A la deuxième dégustation, le vin était moins agréable à boire et avait une couleur jaune doré.

Le microscope montrait une culture presque pure de bacilles plus ou moins recourbés, assez fins et présentant des renflements par endroits ; le deuxième examen montrait le même bacille.

Nous voyons tout d'abord que ce vin est plus riche en alcool, en glycérine, ce qui lui permettait de résister davantage au ferment de maladie, qui a continué son œuvre pendant les derniers huit mois.

	RAPPORTS			
	A.	B.	C.	A'.
10 centimètres cubes. .	7.4	7.9	7.1	7.9
20 — . .	14.9	16.2	14.5	16.1
30 — . .	22.8	24.7	22.1	24.2
40 — . .	30.9	33.4	30.3	33.0
50 — . .	32.7	42.7	39.1	41.9
60 — . .	49.0	52.4	48.4	51.6
70 — . .	59.0	68.9	58.7	61.9
80 — . .	70.0	74.2	70.1	73.0
90 — . .	82.9	86.2	83.2	85.8
100 — . .	100.0	100.0	100.0	100.0

A' est correspondant à A, il se rapporte à la deuxième analyse ; il nous montre tout de suite qu'il y a eu des changements dans l'acidité volatile.

Voici les proportions calculées :

$$\frac{1\,f}{2.5\,a},\quad \frac{1\,p}{7.5\,a},\quad \frac{2.4\,a}{1\,f},\quad \frac{1\,p}{10\,a},$$

traces de p.

Appliquons les lois de la distillation des acides volatils, nous trouvons, lors de la première analyse, par litre $4^{gr},40$ d'acides volatils exprimés en acide acétique qui se décomposent :

En acide formique	1,20	par litre.
— acétique	2,530	—
— propionique	0,170	—

Nous voyons ensuite, par les rapports A', que la proportion d'acide propionique a augmenté ; l'acide formique a été nettement révélé par la réaction au nitrate d'argent.

Mais ce n'est pas tout, l'acidité volatile a diminué, le tartre a diminué, l'acidité fixe a augmenté ; ce sont là de nouveau les caractères que M. Duclaux a reconnus chez la pousse.

Comme nous disposions d'un peu plus de vin, nous en avons profité pour étudier, dans la mesure du possible, les acides fixes ; c'est l'extrait à l'alcool-éther qui a servi à ces recherches.

Cette dissolution débarrassée de l'acide acétique a été traitée par un lait de chaux pur d'une part, et par du carbonate de zinc et de l'oxyde de zinc purs d'autre part.

Avec la chaux nous avons obtenu des tables rhomboédriques dues peut-être à la formation d'un peu de carbonate de chaux, des poudres amorphes et de fines aiguilles réunies en gerbes ; on sait que le succinate et le lactate de chaux affectent cette dernière forme ; le traitement par le carbonate de zinc nous a donné des formes faiblement cristallines, plutôt des poudres, caractère qu'on trouve chez les sels de l'acide tartronique ; de plus, on a reconnu la présence des aiguilles si caractéristiques du lactate de zinc, acide dont M. Gauthier a signalé la présence dans les vins tournés du Midi ; il aurait fallu rechercher davantage les acides glycériques et tartroniques, mais leurs sels cristallisent difficilement ; de plus, on aurait dû opérer avec de fortes quantités de vin qui nous faisaient défaut.

En résumé, voilà cinq vins qui contenaient tous des doses plus ou moins élevées d'acide propionique, dont le tartre a été partout atteint, dont l'acidité fixe a peut-être partout augmenté (nous n'avons pu faire la preuve que pour le n° V), des vins qui ont fermenté tous dans des conditions exceptionnellement chaudes de l'année 1893 ; il

y avait donc des chances qu'ils fussent exposés à des maladies analogues, maladies que nous avons le droit d'identifier avec la pousse ou peut-être la tourne des vins du Midi ; on comprend qu'en raison des différents microbes qui interviennent, les conditions du milieu ainsi que les conditions extérieures doivent jouer ici un grand rôle — ne savons-nous pas déjà que rien que le changement de l'aliment azoté, comme l'a montré M. Péré, peut faire agir différemment le ferment lactique et donner un acide inactif, droit ou gauche, ou encore augmenter considérablement la formation d'acides volatils et diminuer la formation d'acides fixes? En d'autres termes, un même microbe peut se comporter très différemment selon les conditions dans lesquelles il se trouve. Dans l'espèce, nous avons autant de droit de dire que nous avons le même microbe dans les cinq vins étudiés, ou que plusieurs microbes ont agi les uns après les autres aussitôt que les conditions leur étaient favorables. Il est probable que les conditions étaient moins favorables dans le vin V, plus riche en alcool que dans les quatre premiers vins.

Vin VI.

Nous avons ajouté à cette étude un vin de jacquez de l'année 1895 ; il n'avait pas la même maladie : il présentait plutôt les caractères de l'acescence mais d'une acescence un peu particulière.

Alcool	105gr,0
Tartre	2 ,082
Acidité totale.	10 ,846
— fixe	3 ,297
— volatile	9 ,320

Ce vin avait une couleur d'un rouge sale et était d'un goût acide et plat, faisant penser à la piqûre.

Le microscope nous montrait des filaments avec de nombreuses granulations.

Ce qu'il importe de signaler, c'est sa forte acidité volatile, aussi c'est à son étude que nous nous sommes surtout consacrés.

	RAPPORTS		
	A.	B.	C.
10 centimètres cubes . . .	7.6	7.8	6.6
20 — . . .	16.0	16.5	13.8
30 — . . .	24.4	24.8	21.5
40 — . . .	33.2	33.1	29.6
50 — . . .	42.0	41.9	38.1
60 — . . .	51.3	51.7	47.3
70 — . . .	61.6	61.8	57.8
80 — . . .	72.9	72.6	69.0
90 — . . .	85.9	86.4	82.9
100 — . . .	100.0	100.0	100.0

Ce qui nous donne les proportions suivantes :

Traces d'acide formique et d'acide propionique pour beaucoup d'acide acétique ; ce qui veut dire que ce vin était surtout affecté de l'acescence.

Si nous prenons pour nos cinq premiers vins les rapports R entre l'acidité volatile et fixe, nous trouvons respectivement, pour un gramme d'acide fixe, les quantités suivantes en acide volatil 1.0, 2.9, 8.6, 1.2, 1.0 et 0.8 ; dans les vins d'Arbois et d'Auvergne étudiés par M. Duclaux, nous trouvons les rapports 0.3 et 0.5 pour des vins faiblement altérés et des rapports se rapprochant des nôtres pour ceux plus altérés.

Dans la fermentation régulière du tartrate de chaux, nous avons deux équivalents d'acide propionique pur, un équivalent d'acide acétique ; dans aucun de nos vins nous ne retrouvons ces proportions, mais nous savons que l'acide acétique peut provenir de beaucoup de vies microbiennes ; de plus, l'acidité du vin, sa richesse alcoolique, etc., doivent contribuer à modifier les actions de ces ferments de maladies, c'est ce qui explique les variations des rapports R.

Nous avons essayé dans différents milieux la culture de ces organismes sans être arrivés à des résultats encourageants ; ces petits êtres ont, en effet, des besoins à la fois très larges et très étroits ; ils peuvent se contenter de beaucoup de matières hydrocarbonées ou azotées, mais ils sont en même temps très sensibles à la présence ou à l'absence de certains principes nécessaires, utiles, ou nuisibles à leur vie ; nous n'aurons qu'à rappeler la sensibilité de l'*Aspergillus*

niger pour le zinc ou l'argent, celle du *Penicillium glaucum*, pour la chaux, celle du ferment nitrique pour la matière organique. Peut-être aussi n'étaient-ils plus vivants.

Avons-nous des moyens pour nous mettre à l'abri de ces altérations, en attendant que la microbiologie soit plus avancée? Oui, tous ceux que nous avons indiqués au commencement de cette note, parmi lesquels il convient de rappeler tous les soins de propreté, les conditions pour une bonne fermentation et finalement la pasteurisation.

Les expériences poursuivies pendant les dernières années à la station œnologique de Nîmes nous ont de plus appris qu'il en existe un autre tout à fait efficace et nullement à dédaigner, c'est la stérilisation des moûts et leur ensemencement avec des levures sélectionnées.

Nous devons nous contenter ici de le signaler, les résultats obtenus avec les moûts en blanc sont tout à fait encourageants et nous réservent probablement de grands changements en vinification.

Par ce moyen, on détruit complètement tous les mauvais ferments et on applique le proverbe : « Mieux vaut prévenir que guérir. »

L'ORIGINE
DU NITRATE DE SOUDE
AU CHILI

PAR

WILLIAM NEWTON

MEMBRE DE L'INSTITUT DE CHIMIE

MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ DE CHIMIE DE LONDRES

Depuis la première découverte du nitrate dans ces provinces, une question est toujours restée intéressante : celle de savoir pour quelle raison le nitrate existe ici en aussi grande abondance, alors qu'autant que nous le sachions, il n'est répandu en pareille quantité sur aucun autre point du globe.

L'on a imaginé beaucoup de systèmes pour arriver à expliquer la présence de ces dépôts.

Le plus populaire, qui a aussi trouvé l'hospitalité dans des ouvrages scientifiques, suppose que, très anciennement, les pampas nitratières formaient les rivages de la mer et qu'une quantité énorme de plantes marines a été accumulée sur ces bords.

Plus tard, ces rives se sont élevées au-dessus du niveau de la mer et les herbes marines décomposées auraient abandonné leur azote sous forme de nitrate et leur faible teneur d'iode sous forme d'iodate[1].

1. Darwin, *Voyage de naturaliste*. Watt, *Dictionnaire de chimie, etc.*

Ce qui a donné naissance à cette théorie, où interviennent la mer et les plantes marines, c'est le fait que, avant l'époque où l'on retirait l'iode des eaux mères de nitrate, la seule source de production de cette substance était le « kelp », c'est-à-dire les cendres de certaines plantes marines calcinées.

La décomposition de ces plantes, de même que la décomposition de toute matière organique, dans certaines circonstances données, amène la nitrification.

L'existence dans les pampas de grandes salines, à proximité des gisements de nitrate, donne également une apparence de vérité à l'idée d'une formation marine.

Mais l'on ne doit pas oublier que même le sel de la mer est dû originairement au lavage des terres. Il n'y a pas plus de raison pour supposer que ces salines sont de l'eau de mer évaporée que pour dire d'aucuns des lacs salés situés à l'intérieur des terres, qu'ils ont été, à l'origine, reliés a la mer.

Les lacs salins doivent leur sel aux lavages du sol qui les entoure. L'eau qui arrive dans ces lacs peut n'être pas très salée ; mais, si le lac n'a pas d'issue, l'évaporation continuelle, surtout dans des climats chauds, y concentre peu à peu le sel, laissant même quelquefois une saline, après évaporation totale de l'eau.

Des salines se forment aussi sous le sol. L'eau appelée à la surface par capillarité s'évapore constamment et fait place à de nouvelles quantités d'eau, qui est évaporée à son tour et ainsi de suite.

A cette théorie de la formation du nitrate par les plantes marines, il y a au moins trois objections irréfutables. La première est que les algues marines contiennent du brome aussi bien que de l'iode. La plus grande partie du caliche, dans cette province, ne contient pas de brome, alors qu'il devrait en renfermer s'il provenait de plantes marines, car il n'y a pas de procédés dans la nature qui puissent séparer complètement les bromures d'un mélange d'iodates, de chlorures et de nitrates.

Secundo, il est rare de rencontrer des coquillages ou autres débris marins, dans les dépôts ou près des gisements de nitrate. Il y en aurait certainement si c'eût été un dépôt marin.

Tertio, les pierres, dans le caliche ou dans son voisinage, sont

aiguës et dentelées, ne montrant aucune trace de roulement ou d'usure par l'eau, ce qui eût été le cas si elles se fussent trouvées sur le rivage de la mer.

Une autre hypothèse, rencontrant également beaucoup de partisans, fait dériver le nitrate de la décomposition d'anciens dépôts de guano.

L'on en donne comme preuve la présence d'oiseaux et leurs débris dans le caliche.

Ils ont, d'ailleurs, selon toute apparence, été toujours en nombre insignifiant. Cette espèce d'oiseaux existe encore à l'heure actuelle; ils font leurs nids dans les crevasses du sol, ce qui les a quelquefois fait ensevelir vivants dans le caliche. Leur guano, quoique saillant parfois en certains points des pampas, est en réalité un peu plus qu'une tache sur le sol et la quantité qui en pourrait sortir serait plus insignifiante que celle produite par les eaux résiduaires d'un village.

Mais la grande objection à faire à la théorie du guano est que l'on ne trouve aucune accumulation de phosphate, accumulation qui devrait pourtant se rencontrer en quantité proportionnelle à celle du nitrate, si cette hypothèse était exacte.

D'autres systèmes ont encore été émis pour expliquer les dépôts de caliche, systèmes qui méritent à peine la discussion et parmi lesquels il y en a un qui attribue vaguement la formation du nitrate à une action volcanique.

L'on devrait appliquer ici le principe bien connu en fait de recherches scientifiques : c'est-à-dire de ne jamais inventer de systèmes exceptionnels aussi longtemps que le travail de la nature suffit à expliquer les faits.

Le nitrate existe en petites quantités dans tout sol fertile, sur tous les points du globe. Aucune végétation n'est possible sans lui. Comment donc se forme-t-il en terrain ordinaire? Le nitrate provient de l'oxydation de matières organiques et d'ammoniaque dans le sol par l'action de micro-organismes appelés germes nitrifiants.

Les expériences de Th. Schlœsing, confirmées par celles du professeur Warington, ont démontré que les conditions les plus favorables à la vie et au travail de ces organismes nitrifiants sont réunies

lorsque, avec un sol poreux, contenant beaucoup de matières organiques, végétales ou animales, il y a du sulfate de chaux et une base alcaline telle que le carbonate de potasse, de soude, de chaux. Étant donné un sol de cette nature, la quantité de nitrate produite par l'action de ces organismes variera avec la température, la proportion de nitrate étant plus élevée par les chaleurs de l'été et diminuant à mesure que le temps se refroidit.

Dans les terrains agricoles ordinaires, à moins qu'ils ne soient en friche, ce nitrate est absorbé avec avidité par les plantes presque aussi rapidement qu'il est produit.

En fait, à l'exception des plantes légumineuses (trèfles, féveroles, pois, etc.), il est presque certain que la plante ne peut absorber la nourriture azotée, indispensable à sa croissance, que sous forme de nitrate.

L'énorme plaine de Tamarugal est formée de terres d'alluvion poreuses contenant des matières organiques d'origine végétale, anciennes principalement.

Le sol contient aussi du sulfate de chaux ; il est basique par nature, l'eau filtrant au travers étant chargée de carbonate de soude.

La température est élevée ; en un mot, nous trouvons toutes les conditions que le professeur Warington a indiquées comme étant les plus favorables à la conversion rapide de l'azote des matières organiques en nitrate.

Par suite de l'absence absolue de pluie dans ce district, il n'y pousse actuellement aucune végétation qui pourrait absorber ce nitrate, il doit donc s'accumuler.

Jetons maintenant un coup d'œil sur la configuration et la situation de la plaine de Tamarugal.

D'un côté se trouve la haute chaîne des Cordillères se dirigeant du nord au sud, puis vient cette plaine alluvienne, d'une largeur de 30 à 40 milles (48 à 64 kilomètres), s'inclinant graduellement vers l'est jusqu'au moment où elle rencontre la ligne de côté qui la ferme. Cette ligne est formée par des collines ayant la même direction que les Cordillères.

Les eaux du versant ouest des Cordillères ne peuvent s'écouler que sur la plaine. Du côté ouest de la plaine les eaux sont arrêtées

par la rangée des collines de la côte formant un mur complet du nord au sud.

Au pied de ce mur de collines, au versant est, ou côté vers la terre, à une distance de 30 milles (48 kilomètres) de la mer et à une altitude minima d'environ 2 500 pieds (762 mètres) au-dessus du niveau de la mer, ces eaux de drainage se réunissent et, s'évaporant, abandonnent tous les sels qu'elles ont dissous dans leur long passage à travers le sol.

Les torrents venant, de la montagne (Cordillères), inonder la plaine de Tamarugal, tous les 7 ou 8 ans, sont les grands agents de transport du nitrate hors des couches superficielles du sol des pampas.

Les terrains nitratiers sont situés tout le long du pied de ces collines.

Leur situation toujours du côté de la terre indique que le caliche est dérivé du sol et, par le fait même, elle prouve d'une manière quasi absolue l'impossibilité des hypothèses basées sur le rôle des plantes marines ou du guano.

Il semble étrange, à première vue, que l'on puisse trouver souvent le nitrate sur les talus inférieurs des collines. Mais nous pouvons, par une simple expérience, nous rendre compte de la manière dont les choses ont pu se passer. Si nous mettons dans une soucoupe de l'eau dans laquelle nous avons fait dissoudre un peu de nitrate ou de sel et, si nous le laissons évaporer, aussitôt que l'évaporation sera suffisante pour saturer la solution, l'on verra le dépôt de cristaux de nitrate ou de sel se mettre à grimper sur les bords de la soucoupe et même passer par-dessus et descendre de l'autre côté. De même, le caliche a grimpé sur les talus inférieurs des collines à travers des couches de terre poreuse, connues ici sous les noms de « cova » et de « congela ».

La question de l'origine du nitrate est importante, puisque l'une des grandes difficultés de la vente de cette matière provient de ce que beaucoup de cultivateurs s'en défient, sous prétexte que c'est un engrais artificiel ou chimique. Son emploi devrait prendre au contraire de beaucoup plus grandes proportions s'il était prouvé que, loin d'être un engrais artificiel, le nitrate n'est en réalité que

la fertilité concentrée de milliers de kilomètres carrés de terres situées entre les déversoirs des Cordillères et la ligne de collines qui forme la côte.

La plaine de Tamarugal est un vaste et en quelque sorte inépuisable réservoir de nitrate, et ce nitrate a été successivement emporté vers le côté ouest, c'est-à-dire le côté le plus bas.

Le système alluvien de cette bande de terre est énorme et il s'y produit le même phénomène que sur les tas de boue, de détritus organiques et de chaux que les fermiers français, au temps de Napoléon Ier, étaient obligés, par la loi, d'amonceler, afin d'obtenir par la fermentation et un lavage de ces tas, du nitrate pour la fabrication de la poudre de guerre.

De ces faits découlent certaines questions des plus importantes pour le Chili et pour les exploitations de nitrate. Parmi ces questions nous citerons les suivantes :

Dans quelle proportion la quantité d'eau actuelle peut-elle faire déposer à nouveau du nitrate dans un même sol ?

Cette action peut-elle être accélérée et aidée par certains moyens artificiels, tels que l'enlèvement des terres jusqu'à une couche suffisamment poreuse pour permettre au soleil d'user de toute sa puissance d'évaporation, et pour ramasser le nitrate comme cela se pratique dans les salpêtrières de l'Inde et de Birmanie ?

OBSERVATIONS

SUR

LE RENDEMENT CULTURAL

ET SUR

LA TENEUR EN FÉCULE

DE

PLUSIEURS VARIÉTÉS DE POMME DE TERRE INDUSTRIELLE ET FOURRAGÈRE

Par Aimé GIRARD

MEMBRE DE L'INSTITUT

Les recherches que, depuis 1885, j'ai poursuivies en vue de l'amélioration de la culture de la pomme de terre en France n'ont pas eu seulement pour résultat d'établir l'efficacité pratique des procédés que des études scientifiques antérieures m'avaient conduit à conseiller; elles m'ont fourni, en outre, l'occasion de mettre en comparaison, sur un même terrain, un nombre assez grand de variétés.

C'est à Joinville-le-Pont, sur les terres de la ferme de la Faisanderie, annexée à l'Institut national agronomique, que cette mise en comparaison a eu lieu; la culture s'y est étendue progressivement jusqu'à cinq hectares et le nombre des variétés cultivées s'est, progressivement aussi, élevé à plus de quarante.

A la vérité, l'introduction de quelques-unes de ces variétés n'a précédé que de quatre ou cinq ans la clôture de mes recherches,

mais le plus grand nombre d'entre elles a été cultivé pendant neuf et même dix années consécutives.

La culture, pendant cette période, a rencontré les conditions météorologiques les plus diverses; quelquefois des conditions normales, mais, en certaines années aussi, elle s'est trouvée exposée tantôt à des pluies très abondantes, tantôt à des sécheresses excessives.

C'est alors une comparaison singulièrement intéressante et instructive que celle des résultats obtenus dans un même terrain, sous l'influence de procédés culturaux invariables, et qui, par suite, doivent être, pour chacune des variétés de pommes de terre cultivées, attribués exclusivement à l'influence des conditions météorologiques auxquelles la culture s'est trouvée soumise.

On n'en saurait imaginer de plus concluantes pour un terrain déterminé.

Préciser la nature de ce terrain, rappeler les procédés culturaux qui ont été suivis pour son exploitation, tel doit être, par conséquent, mon premier soin dans la circonstance actuelle.

Le terrain sur lequel, à Joinville-le-Pont, est installée la ferme de la Faisanderie, est constitué par une série de couches, irrégulièrement stratifiées, de sable plus ou moins grossier, mélangé de cailloux roulés.

La couleur en est grisâtre, jaunâtre en certaines parties et les matériaux en sont empruntés, non seulement à la région tertiaire voisine, mais aussi à des points éloignés tels que les terrains granitiques du Morvan; l'épaisseur totale de ces couches de gravier est considérable; suivant un renseignement que je dois à mon savant confrère, M. Adolphe Carnot, elle atteint de 12 à 15 mètres.

Le sol et le sous-sol en sont très perméables; avantageuse lorsque la saison amène des pluies abondantes, cette constitution a des conséquences funestes pendant les années de sécheresse ; la terre s'échauffe alors outre mesure, se dessèche à de grandes profondeurs et devient incapable de fournir aux plantes l'eau nécessaire à leur végétation.

C'est, d'autre part, au nombre des terrains pauvres que la terre de Joinville-le-Pont doit être comptée. Dans la première édition de mes *Recherches sur l'amélioration de la culture de la pomme de*

terre en France[1] j'ai fait connaître, pour l'année 1884, la composition de la terre prise, d'une part, de la surface à la profondeur de $0^m,20$, d'une autre, de la profondeur de $0^m,20$ à $0^m,40$.

Cette composition était alors la suivante :

	1re COUCHE de 0^m à $0^m,20$.	2e COUCHE de $0^m,20$ à $0^m,40$.
Sable	93.05	93.25
Argile	5.02	5.26
Chaux	0.13	0.09
Potasse	0.04	0.04
Acide phosphorique	0.07	0.03
Matière noire	0.30	0.25
Inconnu	1.39	1.08
	100.00	100.00
Azote total	0.10	non dosé.

Bien différente de ce qu'elle devait être jadis, cette composition correspond déjà à une amélioration considérable du terrain primitif, amélioration due à l'emploi poursuivi pendant douze années (de 1858 à 1870), par M. Tisserand, de l'engrais humain sur la terre de la ferme de la Faisanderie.

Depuis, et pendant les dix années de culture dont je me propose aujourd'hui d'exposer les résultats, cette amélioration a continué surtout au point de vue de l'enrichissement en acide phosphorique et en chaux, sous l'influence des fumures au fumier de mouton et aux engrais complémentaires que j'y ai appliqués.

C'est ce que montrent les chiffres ci-dessous qui donnent, par rapport à 100 gr. de terre prise à diverses profondeurs, les teneurs qu'en 1895 celle-ci possédait en acide phosphorique, en chaux et en magnésie.

	SURFACE.	A $0^m,50$.	A $0^m,80$.
	gr.	gr.	gr.
Acide phosphorique	0.089	0.070	0.070
Chaux	0.528	0.517	0.521
Magnésie	0.008	0.007	0.007

Quoi qu'il en soit, et malgré cette amélioration, le terrain de la

1. *Recherches sur la culture de la pomme de terre.* Chez MM. Gauthier-Villars et fils, quai des Grands-Augustins, 55, Paris.

ferme de la Faisanderie a toujours été considéré par moi, comme nécessitant un apport considérable d'engrais et c'est sous l'influence de cet apport qu'ont été obtenus les résultats remarquables que, dans leur ensemble, j'ai déjà eu l'occasion de faire connaître à la Société nationale d'agriculture [1].

Pour toutes les variétés de pommes de terre que j'ai mises en observation, depuis 1885 jusqu'à 1895 inclusivement, le traitement cultural a été, chaque année, identique.

Chaque année, en effet, le terrain destiné à la culture comparée de ces variétés était constitué par une pièce de terre unique, sur laquelle les différentes variétés n'étaient réparties qu'après l'achèvement complet du travail cultural.

Le sol de cette pièce était, à l'automne, labouré à 0,35 et 0,40 de profondeur ; puis, après y avoir enfoui une quantité de fumier de mouton représentant 20 000 kilogr. environ par hectare, on complétait au printemps cette fumure par l'épandage de 600 kilogr. de superphosphate riche et de 300 kilogr. de sulfate de potasse par hectare ; aussitôt après la levée, enfin, on semait à la volée, sur chaque hectare de la culture, 200 kilogr. de nitrate de soude.

La pièce entière était rayonnée en croix de manière à assurer à chaque variété un espacement identique de $0^m,50 \times 0^m,60$, correspondant à 333 poquets à l'are. Et c'est alors seulement qu'il était procédé à la division de la pièce et à la répartition sur la surface préparée, et suivant l'étendue attribuée à chacune d'elles, des variétés soumises à l'observation. Pour quelques-unes, pour la *Richter's Imperator* notamment, cette étendue atteignait un hectare ; pour d'autres, elle s'élevait à 10 et 15 ares ; pour quelques-unes, elle ne dépassait pas 2 ares.

Pour toutes les variétés, la plantation avait lieu de bonne heure, aux premiers jours d'avril, et le travail était conduit avec rapidité de façon à leur assurer des dates de plantation aussi voisines que possible.

Les binages, les buttage, le sulfatage, bien entendu, étaient tou-

1. *Bulletin de la Société nationale d'agriculture,* 1889 à 1896.

jours exécutés d'un seul coup sur la pièce entière et toutes les variétés, par conséquent, placées dans des conditions de végétation identique.

Cette végétation, d'ailleurs, était prolongée jusqu'à la dernière limite et, pour chaque variété, l'arrachage n'avait lieu que quand la maturité de cette variété était complète, c'est-à-dire quand, suivant le principe que j'ai fixé, les feuilles du dernier bouquet étaient flétries.

La pesée, enfin, et l'analyse des tubercules avaient lieu aussitôt la récolte faite.

Telles sont les conditions dans lesquelles, pendant dix ans, a été conduite la culture des variétés de pommes de terre que j'ai mises en observation.

Les rendements et les richesses ont donc, pendant ces dix années, varié uniquement sous l'influence des conditions météorologiques des campagnes successives.

Mais il convient de remarquer aussitôt qu'à côté de cette cause de variations, s'en présente une autre dont l'importance est capitale; cette cause, qu'on doit considérer comme d'ordre général, c'est la convenance réciproque du terrain et de la variété qu'il reçoit. Je crois devoir insister sur ce point, afin qu'il ne soit pas donné, aux résultats que je vais faire connaître, une généralisation exagérée; c'est aux terrains de gravier, pauvres et perméables comme celui de la ferme de la Faisanderie à Joinville-le-Pont, que ces résultats doivent être appliqués.

Dans quelques cas, cependant, et pour les variétés les plus importantes, je placerai à côté d'eux les résultats obtenus par plusieurs de mes collaborateurs dans des terrains différents, et, peut-être, de la comparaison des uns et des autres, sera-t-il permis de tirer des conclusions sinon générales, du moins plus étendues.

J'aurais pu, au cours de ces observations, opérant une sélection raisonnée sur ces diverses variétés, d'après la méthode que j'ai fait connaître et qui repose sur la considération de la vigueur de la végétation aérienne, chercher à améliorer celles-ci au point de vue du rendement et de la richesse, mais tel n'était pas mon but; celui que je poursuivais était la constatation des propriétés courantes de variétés abandonnées à leur libre allure, dans le terrain que je leur offrais.

Les 42 variétés dont j'ai ainsi suivi le développement ont montré, entre elles, des différences considérables sous le rapport du rendement en poids, comme aussi sous le rapport de la richesse en fécule ; ces différences ont été, en certain cas, du simple au double.

Afin d'en rendre l'appréciation plus facile, je répartirai toutes ces variétés en trois classes, d'après l'importance de leur rendement en poids et je distinguerai :

1re classe : variétés à *grand rendement,* comprenant celles dont le rendement a dépassé, en moyenne, 25 000 kilogr. à l'hectare pendant ces dix ans ;

2e classe : variétés à *rendement moyen,* comprenant celles dont le rendement a été, en moyenne, et pendant ces dix années, compris entre 20 000 et 25 000 kilogr. à l'hectare ;

3e classe : variétés à *faible rendement,* comprenant celles dont le rendement moyen, pendant ces dix années, s'est tenu au-dessous de 20 000 kilogr.

J'indiquerai d'abord, ci-dessous et en bloc, le rendement moyen, de 1885 à 1895, des variétés comprises dans chacune de ces trois classes, me proposant de présenter ensuite le rendement annuel de chacune d'elles et d'insister avec quelques détails sur les plus importantes d'entre elles.

Rendement moyen et richesse moyenne, de 1885 à 1895, des variétés comprises dans la 1re classe.

Grands rendements ; au-dessus de 25 000 kilogr. à l'hectare.

	Kilogr.	FÉCULE p. 100.
Richter's Imperator	33 642	à 18.68
Triomphe de Belfort	31 320	à 18.90
Géante bleue	29 500	à 15.70
Professeur Mærker	27 700	à 20.90
Géante de Reading	27 400	à 14.50
Peach blow	26 800	à 17.90
Red skinned	26 200	à 16.90
Aurora	26 100	à 14.60
Athènes	25 820	à 17.50
Idaho	25 760	à 16.10
Charolaise	25 660	à 13.80

Rendement moyen et richesse moyenne, de 1885 à 1895, des variétés comprises dans la 2° classe.

Rendements moyens ; entre 20 000 et 25 000 kilogr.

	Kilogr.		Fécule p. 100.
Magnum bonum	24 460	à	15.10
Chardonne rouge	23 200	à	16.70
Canada	21 750	à	15.10
Simson	21 700	à	18.30
Aspasia	21 580	à	15.20
Institut de Beauvais	21 480	à	14.48
Van der Weer	21 150	à	14.70
Boursier	21 050	à	15.50
Infaillible	20 000	à	15.70
Adirondack	20 000	à	16.70
Gelbe rose	20 083	à	17.25
Rose de Lippe	20 430	à	15.80

Rendement moyen et richesse moyenne, de 1885 à 1895, des variétés comprises dans la 3° classe.

Rendements faibles ; au-dessous de 20 000 kilogr.

	Kilogr.		Fécule p. 100.
Alcool	19 950	à	17.10
Rosalie	19 170	à	15.82
Fleur de pêcher	19 140	à	17.30
Sutton's abundance	19 112	à	15.70
Juno	19 034	à	19.30
Éléphant blanc	18 930	à	14.10
Bismarck	17 890	à	20.90
Chardon	17 860	à	15.50
Chancelier impérial	17 470	à	21.70
Jeuxey ou Vosgienne	17 440	à	14.60
Jean Rivat	16 900	à	17.00
Brownwell	16 830	à	14.80
Eos	15 940	à	16.30
Kornblum	15 060	à	16.90
Négresse	15 000	à	17.00
Daberche	14 530	à	17.20
Meilleure de Bellevue	14 370	à	17.20
Kernours	14 200	à	14.20
Aurélie	13 600	à	18.90

Variétés à grand rendement.

Dans cette longue expérience, qui a duré dix ans, je n'ai pu, on le voit, rencontrer qu'un bien petit nombre de variétés à grand rendement; ce nombre atteint à peine le quart du nombre des variétés mises en observation. Celles-ci, cependant, avaient été choisies ou bien parmi les variétés déjà connues et réputées dans notre pays, ou bien parmi les variétés nouvelles vantées tant en France qu'à l'étranger. Et c'est pour cinq d'entre elles seulement qu'aux rendements moyens de 26 000 à 33 000 kilogr. est venue se joindre une richesse moyenne de 17 à 19 p. 100 environ de fécule anhydre.

Ce serait cependant commettre une grave erreur que de considérer toutes les variétés de cette classe comme incapables de donner à la fois un grand rendement en poids et une grande richesse absolue. En certaines années, quelques-unes d'entre elles ont atteint nettement ce double résultat; mais, en d'autres années, influencées par les conditions météorologiques, elles n'ont abouti qu'à des résultats inférieurs qui ont, dans une large mesure, abaissé leur moyenne générale.

C'est ce que montrera l'examen détaillé des résultats fournis pendant ces dix années par les plus importantes des variétés étudiées; c'est suivant l'importance de leur rendement en poids que je les rangerai.

Richter's Imperator. — De 1885 à 1895 inclus, les rendements en poids et la richesse en fécule fournis par cette variété, à Joinville-le-Pont, ont été les suivants:

	Kilogr.		FÉCULE p. 100.
1886	44 760	à	16.2
1887	34 080	à	21.0
1888	31 350	à	18.4
1889	29 500	à	20.4
1890	35 040	à	19.7
1891	34 000	à	22.4
1892	30 000	à	12.8
1893	28 761	à	19.4
1894	33 424	à	16.0
1895	35 111	à	20.5

Moyenne 33 342 kilogr. à 18.68 p. 100 de fécule anhydre.

La *Richter's Imperator* est aujourd'hui trop connue pour qu'il soit nécessaire d'insister sur ses qualités. Les récoltes successives qu'elle m'a données à Joinville pendant dix années portent avec elles leur enseignement ; deux fois seulement, sous l'influence de la sécheresse, j'ai vu son rendement en poids inférieur, et de bien peu, à 30 000 kilogr. et toujours, sauf l'accident qu'ont déterminé, en 1892, les conditions météorologiques de la fin de la campagne, sa richesse en fécule s'est montrée supérieure à 16 p. 100, pour le plus souvent osciller autour de 20 p. 100.

« Il y a lieu de signaler, a dit, en 1895, à la Société nationale d'agriculture, M. H. de Vilmorin, la constance de la pomme de terre *Imperator*, au point de vue du grand rendement cultural et de la richesse en fécule [1]... »

Telle est, en effet, la caractéristique de cette variété; elle s'accommode de presque tous les terrains et les accidents météorologiques ne l'affectent pas, en général, profondément.

Les résultats fournis par cette variété à mes collaborateurs, dont le nombre, modeste au début (33 seulement en 1889), s'était rapidement élevé pour, en 1892, atteindre le chiffre de 600, ont, de tous points, confirmé cette appréciation. On a vu ceux-ci, en effet, lorsqu'ils ont, en terre fertile, suivi exactement les méthodes culturales que j'ai recommandées, obtenir en moyenne [2] :

	Kilogr.		FÉCULE p. 100.
En 1889.	36 000	à	21.9
1890.	37 157	à	19.5
1891.	36 250	à	20.0
1892.	36 276	à	17.0

Diminués pendant les trois années suivantes par des conditions météorologiques déplorables, en 1893 et 1895, par des sécheresses excessives, en 1894, par une pluie incessante en fin de campagne,

1. *Bulletin de la Société nationale d'agriculture,* année 1895, p. 150.

2. *Ibid.,* années 1889 à 1896.

leurs rendements n'en sont pas moins restés relativement élevés; ils ont été en effet:

	Kilogr.	FÉCULE p. 100.
En 1893.	22 309	à 19.0
1894.	25 371	à 19.3
1895.	24 709	à 19.0

A côté de ces chiffres, il n'est pas sans intérêt de placer ceux qu'à Clichy-sous-Bois (Seine-et-Oise), dans un terrain argileux et un peu froid, tout différent de celui de Joinville, cette même variété m'a donné; de 1885 à 1895, les rendements et les richesses ont, sur ce terrain, été les suivants:

	Kilogr.	FÉCULE p. 100.
1886.	41 400	à 14.60
1887.	33 665	»
1888.	41 072	à 19.49
1889.	35 000	»
1890.	43 300	»
1891.	45 580	à 21.40
1892.	32 900	à 17.70
1893.	27 500	»
1894.	42 700	à 18.40
1895.	34 280	à 20.90
Moyenne	37 310	à 18.75

De l'ensemble des résultats qui précèdent et de leur comparaison avec les résultats que fournissent les autres variétés, il est permis de tirer cette conclusion que la variété *Richter's Imperator* doit être considérée comme celle qui, jusqu'ici, offre à la culture la plus grande sécurité; même dans les années mauvaises, où son rendement subit une légère diminution, celui-ci reste assez élevé pour être encore rémunérateur.

Cette conclusion est, aujourd'hui, généralement admise et, depuis le jour où, après avoir appelé l'attention sur cette belle variété, j'ai fait connaître les rendements qu'elle avait fournis à des centaines de cultivateurs, on a vu, en quelques années, la plantation s'en répandre sur la France entière.

Quelques personnes, cependant, lui ont adressé un reproche et

l'ont accusée de se mal conserver pendant l'hiver. Si ce fait s'est produit, c'est à de mauvaises installations qu'il est dû ; nombreux sont ceux de mes collaborateurs qui n'ont jamais vu les tubercules de *Richter's* s'altérer pendant les mois de conserve ; chez M. Vast, à la ferme de Chanteloup (Seine-et-Marne), c'est par centaines de tonnes que se comptent les tubercules conservés, et jamais on n'a vu la masse ainsi emmagasinée entrer en décomposition : cette année encore, à la fin du mois de juin, je trouvais chez notre confrère M. S. Tétard, à Gonesse, plusieurs milliers de kilogrammes de tubercules qui, conservés en tas au-dessous d'un plancher chargé de foin, n'avaient encore, malgré cette date avancée, subi aucune altération.

Triomphe de Belfort. — A côté de la variété *Richter's Imperator,* il convient de placer une variété présentée récemment par M. Japy, président de la Société d'agriculture de Beaucourt (Territoire de Belfort) et dont celui-ci a bien voulu me fournir, à la fin de 1892, une certaine provision ; c'est sur une surface modeste de deux ares que je l'ai cultivée de 1893 à 1895 inclusivement, et elle m'a donné les résultats suivants :

	Kilogr.	FÉCULE p. 100.
1893	28 400	à 23.8
1894	33 000	à 14.7
1895	32 570	à 18.4
Moyenne.	31 320	à 18.9

J'ai cultivé cette variété pendant trop peu d'années pour pouvoir porter sur elle un jugement définitif ; les résultats qu'elle a fournis jusqu'ici sont cependant très recommandables et comparables, année pour année, à ceux qu'a fournis la *Richter's Imperator ;* elle offre d'ailleurs, sous le rapport du feuillage, de la forme et de la grosseur des tubercules, la plus grande analogie avec celle-ci.

Géante bleue. — Depuis une dizaine d'années, une variété remarquable est venue se placer à côté de la *Richter's Imperator ;* connue en Allemagne sous le nom de *Blue Riesen,* cette variété doit, en France, être désignée sous le nom de *Géante bleue.*

Je l'ai cultivée à Joinville pendant cinq années consécutives, et elle m'a donné les résultats suivants :

	Kilogr.		FÉCULE p. 100.
1891	31 400	à	21.7
1892	35 000	à	11.8
1893	26 880	à	16.2
1894	29 540	à	12.1
1895	24 900	à	16.9
Moyenne.	29 500	à	15.7

Ces chiffres, aussi bien ceux relatifs au rendement en poids que ceux relatifs à la teneur en fécule, sont notablement au-dessous de ceux qui, au début, avaient été annoncés par les propagateurs de cette variété.

Chez quelques-uns de mes collaborateurs, cependant, ces chiffres élevés ont été atteints.

En 1893, vingt-sept d'entre eux m'ont fait connaître leurs rendements et mis à même d'analyser leurs tubercules. La moyenne de ces rendements a été de 24730 kilogr., mais comprise entre des chiffres extrêmes, singulièrement éloignés et variant de 8 000 kilogr. seulement à 38 000 kilogr. à l'hectare ; la richesse moyenne était égale à 16.7 avec des écarts de 14.5 à 20.5.

En 1894, le rendement moyen a été pour vingt-sept cultivateurs encore de 30 700 kilogr., avec des écarts de 14 000 kilogr. à 40 000 kilogr., la richesse moyenne de 16.3 p. 100 avec des écarts de 13.7 p. 100 à 20.0 p. 100.

En 1895 enfin, pour vingt-deux cultivateurs, le rendement moyen s'est élevé à 27 080 à l'hectare, avec des écarts de 11 500 kilogr. à 35 400 kilogr. ; quant à la richesse moyenne, le petit nombre de ceux qui, parmi ces collaborateurs, m'ont envoyé des tubercules à analyser ne me permet pas de la fixer.

La conséquence à tirer des faits qui précèdent est que la *Géante bleue* peut, dans certaines conditions météorologiques et dans certains terrains, donner d'aussi bons résultats que la *Richter's Imperator ;* mais tandis que celle-ci se présente au cultivateur avec des qualités de constance qui doivent le rassurer, celle-là se montre au contraire inconstante et variant dans ses résultats suivant des causes jusqu'ici mal définies, c'est-à-dire avec des défauts qui le doivent inquiéter.

L'insuccès relatif qu'elle m'a donné à Joinville, sa faible teneur en fécule surtout, montrent combien elle est difficile sur le choix du terrain ; parmi ses qualités cependant, il convient de citer la grande résistance qu'elle présente à la maladie, mais il convient de rappeler également que la variété *Richter's Imperator*, très résistante déjà par elle-même, doit, quand elle a été convenablement sulfatée, être mise au premier rang de celles qu'épargne le *phytophtora infestans*.

A côté de cette qualité dont l'importance ne saurait être méconnue, la *Géante bleue* présente, d'autre part, de sérieux inconvénients, dont le plus grave, certainement, est sa tardivité ; sa maturité est, généralement, de 15 jours en retard sur celle de la *Richter's Imperator* et, pour cette cause, on la voit rarement atteindre la richesse en fécule à laquelle, en d'autres circonstances, elle pourrait prétendre ; il est rare qu'on la puisse arracher avant les derniers jours d'octobre. La sécheresse, d'autre part, a sur elle une influence considérable et, toute vigoureuse qu'elle soit, elle n'a pu, par exemple, en 1893 et 1895, échapper aux accidents qui se sont produits ; les feuilles se sont flétries six semaines au moins avant l'époque normale de son arrachage.

Pour ces diverses raisons, je ne crois pas qu'il faille préférer la *Géante bleue* à la *Richter's Imperator ;* l'industrie de la féculerie qui l'avait d'abord accueillie avec faveur, l'exclut généralement aujourd'hui de ses approvisionnements et, d'autre part, j'ai constaté, par l'expérience directe, que, cuite à la vapeur, elle acquiert une odeur spéciale et forte, en même temps qu'une légère amertume qui la font accepter difficilement par le grand bétail à l'alimentation duquel on la destine.

Géante sans pareille. — Quoique je n'aie pas eu l'occasion de cultiver moi-même cette variété nouvelle, il m'a semblé intéressant de placer ici les résultats qui, à son sujet, m'ont été communiqués par trois de mes collaborateurs en 1895.

La moyenne du rendement en poids qu'ils ont obtenu a été de 28 800 kilogr. à l'hectare et, aux tubercules qu'ils ont bien voulu m'envoyer, j'ai trouvé une richesse moyenne de 17.81 p. 100.

Ce sont là des résultats encourageants, mais trop peu nombreux

pour qu'il me soit permis d'émettre une opinion ferme sur la valeur de cette variété.

Professeur Mœrker. — J'en dirai autant de la variété désignée par le nom de *Professeur Mœrker;* je ne l'ai, en effet, cultivée qu'en 1895 ; elle m'a alors donné de très bons résultats : 27 700 kilogr. à 20.90 p. 100 par hectare.

Dès 1894, deux de mes collaborateurs m'avaient communiqué des rendements de 27 000 et de 29 000 kilogr, à l'hectare ; en 1895, quatre d'eux m'annonçaient des rendements dont un seul s'élevait à 27 500 kilogr. et dont la moyenne ne dépassait pas 23 100 kilogr., mais, pas plus en 1894 qu'en 1895, la richesse en fécule des tubercules provenant de ces récoltes n'a atteint le chiffre élevé que j'ai obtenu en 1895, c'est-à-dire 20.90 p. 100 ; cette richesse était, en 1894, de 16.9 p. 100 ; en 1895, de 16.2 p. 100.

La variété dite *Professeur Mœrker* mérite néanmoins d'être soigneusement étudiée en grande culture ; elle a, en effet, sur la plupart des variétés à grand rendement, l'avantage d'être demi-hâtive ; elle mûrit dès la fin d'août.

C'est à M. Tibulle Collot, de Lille, que je dois le plant que j'ai cultivé en 1895.

Géante de Reading. — La *Géante de Reading* est, comme la précédente, une variété demi-hâtive ; je l'ai cultivée à Joinville-le-Pont pendant quatre années, et c'est à MM. Whitead Cousins, de Londres, que je dois le plant que j'ai introduit dans mon champ d'expériences, en 1892.

Cette variété, nouvelle en France, m'a, pendant ces quatre années, fourni des rendements en poids assez élevés, mais jamais je n'ai vu sa teneur en fécule dépasser un chiffre modeste ; une seule fois, cette teneur s'est élevée à 16.4 p. 100. Son produit a été le suivant :

	Kilogr.		FÉCULE p. 100.
1892	30 700	à	12.4
1893	27 760	à	16.4
1894	24 180	à	14.0
1895	27 000	à	15.1
Moyenne.	27 400	à	14.5

Peu répandue en France, cette variété n'a été cultivée que par deux de mes collaborateurs, qui en ont obtenu :

	Kilogr.	FÉCULE p. 100.
En 1893.	19 000 à	17.3
1894.	34 240 à	17.1

Les différences considérables qu'on observe entre ces deux rendements montrent bien que les essais culturaux relatifs à cette variété ne sont pas assez nombreux encore pour qu'on en puisse, dès à présent, fixer la qualité ; les essais que j'ai faits à Joinville cependant, et qui m'ont permis de ranger la *Géante de Reading* parmi les variétés à grand rendement, l'intérêt que présenterait la fixation de variétés hâtives ou demi-hâtives susceptibles d'être placées dans cette classe, montrent que, malgré la médiocre teneur en fécule qui paraît être son défaut, la *Géante de Reading* est digne de considération.

C'est une variété à végétation élevée et vigoureuse qui mûrit dès la fin d'août.

Peach blow. — Sous ce nom générique, je rangerai ici une variété dont je dois la communication à l'un de mes collaborateurs, M. Osmin Lepetit, de Saint-Amand (Cher), et qui, d'après M. de Vilmorin, paraît appartenir à la classe des *Peach blow.*

Je l'ai cultivée à Joinville pendant quatre années, et elle m'a donné les résultats suivants :

	Kilogr.	FÉCULE p. 100.
1892	33 000 à	20.1
1893	25 750 à	18.2
1894	26 250 à	17.3
1895	22 300 à	16.0
Moyenne.	26 800 à	17.9

Les résultats qui précèdent sont certainement très dignes d'attention ; les rendements en poids sont beaux, mais on ne peut s'empêcher de remarquer que la richesse en fécule a été diminuant d'année en année, soit que la variété ne soit pas absolument fixée, soit que le terrain dans lequel je l'ai cultivée à Joinville-le-Pont ne lui permette pas de développer toutes ses facultés.

Red Skinned. — Cette excellente variété, depuis si longtemps connue en France et désignée tantôt sous le nom qui précède et qui signale la coloration rougeâtre que revèt la peau de ses tubercules, tantôt sous les noms de *Flour ball,* de *Balle de farine,* de *Chardonne rouge,* etc., est certainement l'une de celles que l'on doit le plus recommander à la grande culture comme pomme de terre industrielle et fourragère.

Pendant dix années consécutives, je l'ai cultivée à Joinville-le-Pont sur des surfaces assez étendues, et sauf deux ou trois défaillances, elle m'a toujours donné des résultats très satisfaisants ; c'est ce que montrent ci-dessous les rendements et les richesses correspondant à ces dix années :

	Kilogr.		FÉCULE p. 100.
1886.	29 800	à	15.72
1887.	31 400	à	17.00
1888.	29 000	à	17.40
1889.	23 200	à	17.80
1890.	32 500	à	17.80
1891.	25 800	à	21.20
1892.	30 000	à	13.50
1893.	11 300	à	18.20
1894.	26 970	à	13.10
1895.	21 010	à	18.29
Moyenne	26 200	à	16.90

Ces chiffres sont extrêmement intéressants ; ils mettent en relief les belles qualités de la variété *Red Skinned* qu'on voit en certaines années favorables (1887-1888) se rapprocher des variétés les plus productives ; ils montrent aussi combien est grande l'influence qu'exercent sur elle les conditions météorologiques, influence qui, pour des automnes pluvieux comme celui de 1894, abaisse la teneur en fécule à 13.10 p. 100, tandis que, pour des saisons sèches comme celle de 1893, le rendement en poids tombe de 30 000 et même 32 000 kilogr. à 11 300 kilogr.

Cultivée par un certain nombre de mes collaborateurs, la *Red Skinned* a offert, sous leurs exploitations, des variations du même ordre.

En 1893, quatorze d'entre eux m'ont communiqué des rende-

ments dont la moyenne en poids n'a pas dépassé 22 500 kilogr., mais avec des écarts de 12 000 à 33 500 kilogr. La richesse moyenne, qui s'est élevée à 18.5 p. 100, a présenté également de grands écarts (14.3 à 22.7 p. 100).

En 1894, à la suite d'un automne pluvieux, la moyenne générale du rendement, pour douze de mes collaborateurs, a été de 26 900 kilogr., c'est-à-dire identique au rendement que j'avais obtenu à Joinville, mais à l'établissement de cette moyenne sont intervenus des chiffres très différents (14 800 kilogr. à 29 000 kilogr.) avec une teneur moyenne en fécule de 16.6 p. 100, présentant des écarts de 14.8 à 19.9.

En 1895, enfin, le rendement moyen, pour quatorze cultivateurs, s'est abaissé à 22 790 kilogr. à 17.1 p. 100, avec des écarts de 11 750 kilogr. à 32 500 kilogr. quant au poids à l'hectare et de 14.3 à 20.5 p. 100 quant à la teneur en fécule.

Les grandes différences que tous ces chiffres présentent entre eux montrent à quel degré et suivant que le terrain dans lequel elle est cultivée lui est ou ne lui est pas favorable, la *Red Skinned* est impressionnée par les conditions météorologiques.

Les rendements qu'elle m'a donnés pendant dix années consécutives à Clichy-sous-Bois, dans un terrain légèrement argileux et moins accessible, par conséquent, aux accidents que la sécheresse détermine, viennent à l'appui des observations qui précèdent ; ces rendements ont été les suivants :

	Kilogr.		FÉCULE p. 100.
1886.	33 400	à	15.70
1887.	26 375	à	15.70
1888.	36 380	à	18.92
1889.	32 000	à	18.92
1890.	40 900	à	18.92
1891.	35 960		»
1892.	27 700	à	13.30
1893.	30 100		»
1894.	35 200	à	17.70
1895.	32 360	à	19.00
Moyenne	33 037	à	16.30

De tout ce qui précède, il convient de conclure que la *Red Skinned*

est, à un plus haut degré que d'autres variétés, exigeante sur la nature des terrains où elle doit être cultivée ; c'est une variété plus délicate que la *Richter's Imperator* et la *Géante bleue,* moins constante que la première, mais qui, malgré tout, doit être comptée au nombre de celles qui doivent être recommandées à la grande culture.

Aurora. — Cette variété, que j'ai fait venir d'Allemagne il y a une dizaine d'années, m'avait tenté par les grands rendements en poids qui lui étaient attribués ; elle avait, en outre, le grand avantage de n'être que demi-tardive ; cultivée à Joinville-le-Pont, depuis 1887, elle m'a donné les résultats suivants :

	Kilogr.		FÉCULE p. 100.
1886	»		
1887	31 700	à	13.0
1888	31 800	à	14.7
1889	18 900	à	15.8
1890	30 960		»
1891	25 000	à	16.6
1892	»		[1]
1893	21 300	à	16.6
1894	27 200	à	10.8
1895	22 000	à	15.1
Moyenne	26 100	à	14.6

L'élévation des rendements en poids qui étaient annoncés a été ainsi généralement vérifiée ; mais, malheureusement, la teneur en fécule est toujours restée médiocre et inférieure en moyenne (14.5 p. 100) à ce qu'elle doit être pour qu'une variété puisse être rangée parmi les produits avantageux au point de vue de l'industrie et de l'alimentation du bétail.

Athènes. — La variété *Athènes* est une de celles qui ont été les plus prônées en Allemagne depuis quelques années ; je l'ai introduite à Joinville-le-Pont en 1890, et cultivée, par conséquent, pen-

1. La culture de l'*Aurora,* presque entière, a été détruite par une gelée printanière.

dant six années consécutives ; les rendements qu'elle a fournis sont rapportés ci-dessous :

	Kilogr.		Fécule p. 100.
1890.	46 500	à	18.08
1891.	26 200	à	22.02
1892.	34 000	à	14.00
1893.	14 430	à	17.30
1894.	18 570	à	14.30
1895.	15 210	à	18.80
Moyenne	25 820	à	17.50

Un de mes collaborateurs qui a cultivé cette variété pendant trois années de suite, sur une étendue d'un hectare, a, de son côté, obtenu les résultats suivants :

	Kilogr.		Fécule p. 100.
1893.	27 645	à	18.20
1894.	31 000	à	19.70
1895.	17 000		»

Ce sont là de très bons rendements, mais il est à craindre qu'ils ne soient exceptionnels et la différence, en tout cas, a été grande entre 1894 et 1895.

D'autres rendements m'ont été communiqués encore en 1893 : 10 000 kilogr. dans la Marne, 8 000 kilogr. à 21.9 dans les Ardennes, 14 000 kilogr. à 19.4 dans l'Oise ; 13 000 kilogr. près de Belfort.

Ces chiffres sont bien inférieurs à ceux que je citais tout à l'heure et se rapprochent plutôt de ceux que j'ai obtenus à Joinville, de 1893 à 1895 inclus, que de ceux que l'*Athènes* m'avait fournis au début.

Aussi doit-on, à mon avis, considérer l'*Athènes* comme une variété dont le succès, au point de vue du rendement en poids, n'est assuré que dans certains terrains spéciaux et peu répandus. Ce qui reste remarquable, cependant, c'est sa richesse, généralement grande, en fécule ; deux fois seulement, en effet, je l'ai vue s'abaisser à 14 p. 100 ; généralement, elle s'élève à 18 ou 20 p. 100.

On doit donc la regarder comme constante au point de vue de la richesse, mais comme inconstante au point de vue du rendement en

poids ; elle ne possède que l'une des deux qualités que doivent réunir les variétés industrielles et fourragères à recommander.

Idaho. — Cette variété, que nombre de nos cultivateurs connaissent bien et dont j'ai tiré le premier plant, en 1886, des environs de Lunéville (Meurthe-et-Moselle), a été cultivée à la ferme de la Faisanderie pendant neuf années ; elle a fourni des rendements et des richesses qui sont indiqués ci-dessous :

	Kilogr.	FÉCULE p. 100.
1886.	»	
1887.	31 870 à	12.00
1888.	26 050 à	15.80
1889.	19 900 à	18.10
1890.	35 700 à	17.30
1891.	27 800 à	20.20
1892.	24 470 à	11.80
1893.	24 700 à	17.60
1894.	21 690 à	15.50
1895.	19 700 à	16.70
Moyenne	25 760 à	16.10

C'est donc parmi les bonnes variétés que doit être rangée l'*Idaho ;* elle peut, en certaines années, rendre au delà de 30 000 kilogr. à l'hectare et, sauf de rares exceptions, on voit son rendement se tenir aux environs de 25 000 kilogr. : la richesse en est généralement bonne et c'est exceptionnellement que je l'ai vue, en 1887 et 1892, descendre au-dessous de 15 p. 100, en 1889 et 1891, s'élever jusqu'à 18.10 et 20.20 p. 100. Peut-être, en certains terrains, pourrait-elle rendre des services plus grands que ceux qu'elle a rendus dans le terrain de Joinville ; en aucun cas, cependant, elle ne paraît devoir être préférée aux variétés dont j'ai exposé les qualités au début de ces observations.

Charolaise. — Cette variété, que l'on ne connaît que depuis huit ou dix ans, est due aux semis de M. Louis Garenne, de Saint-Laurent-Perrigny (Saône-et-Loire) ; je l'ai reçue de cet habile cultivateur en 1889 ; je l'ai plantée à Joinville pendant cinq années consécutives, et j'en ai suivi le développement avec le plus grand soin.

D'origine française, en effet, la *Charolaise* est digne de tout intérêt ; elle est hâtive et, tout en donnant des rendements élevés, elle mûrit dès le milieu du mois d'août.

En certains terrains, d'ailleurs, sa richesse en fécule est grande ; malheureusement, dans le terrain de Joinville-le-Pont, cette richesse n'a pu être atteinte qu'une seule fois.

C'est ce que montrent les chiffres ci-dessous :

	Kilogr.		FÉCULE p. 100.
1891.	29 000	à	18.90
1892.	27 000	à	11.00
1893.	28 400	à	15.10
1894.	19 950	à	11.60
1895.	23 940	à	12.40
Moyenne	25 660	à	13.80

Chez quelques-uns de mes collaborateurs que j'avais engagés à expérimenter cette variété, des richesses supérieures à celles que je viens de signaler ont été obtenues.

Six de ces collaborateurs ont, en 1893, obtenu avec la *Charolaise* des rendements dont la moyenne a été de 22 410 kilogr. avec des écarts de 15 000 à 25 680 kilogr. ; parmi eux, M. L. Garenne avait obtenu 24 740 kilogr. en grande culture ; la richesse, variant de 13.7 à 17.1 p. 100, s'était élevée en moyenne à 15.5 p. 100.

En 1894, année plus favorable, M. L. Garenne a obtenu 33 000 kilogr. à 15.1 p. 100, et c'est au même chiffre que s'est élevée, en 1895, la récolte d'un de mes collaborateurs du département de l'Eure.

Ce sont là des résultats intéressants, surtout lorsque l'on considère que les rendements de 25 000 kilogr. et de 30 000 kilogr., qui viennent d'être indiqués, peuvent être obtenus dès le milieu du mois d'août. La médiocrité de la teneur en fécule que j'ai constatée à Joinville doit être, à mon avis, attribuée à la nature du terrain qui, très probablement, n'offre pas à la végétation de cette variété les conditions physiques qui lui sont nécessaires.

Une étude plus prolongée de cette variété qui paraît bien fixée, la recherche surtout de terrains appropriés à ses besoins me parais-

sent dignes d'être encouragées. Sans atteindre à la grande richesse de la *Richter's Imperator*, de la *Géante bleue*, etc., la *Charolaise* pourrait certainement, si sa teneur en fécule s'élevait régulièrement à 16 ou 17 p. 100, et grâce à son rendement en poids, permettre à la féculerie, à la distillerie, à l'emploi de la pomme de terre pour l'élevage du bétail, un début plus hâtif de leurs travaux.

Variétés à rendement moyen.

Les variétés que j'ai rangées dans cette classe, et dont le rendement pondéral est compris entre 20 000 et 25 000 kilogr., ne peuvent pas être comptées parmi celles qui, par leur rendement en poids et leur richesse en fécule, doivent être recommandées aux cultivateurs qui se proposent de produire la pomme de terre industrielle et fourragère ; les variétés comprises dans la première classe leur doivent toujours être préférées. Néanmoins, quelques-unes d'entre elles sont intéressantes et j'ai cru, pour cette cause, devoir relater ici les observations que j'ai faites et qu'ont faites à leur sujet quelques-uns de mes collaborateurs, de 1885 à 1895.

Ces variétés sont au nombre de 12 ; j'indiquerai, mais avec moins de détails que précédemment, les résultats qu'elles ont fournis :

	MAGNUM BONUM.		CHARDONNE ROUGE.		CANADA.	
	Kilogr.	Fécule p. 100.	Kilogr.	Fécule p. 100.	Kilogr.	Fécule p. 100.
1886 . . .	36 400	15.50	»		»	
1887 . . .	25 860	11.50	»		32 770	14.00
1888 . . .	24 800	16.30	»		25 700	14.90
1889 . . .	23 200	12.40	»		17 050	14.80
1890 . . .	31 000	»	»		27 300	»
1891 . . .	23 300	13.00	26 700	16.60	19 000	16.60
1892 . . .	23 200	13.00	36 200	15.00	19 700	13.10
1893 . . .	16 010	17.10	14 050	19.40	18 200	17.10
1894 . . .	22 060	13.50	21 650	13.00	16 020	15.50
1895 . . .	18 900	16.60	17 300	19.40	20 009	15.10
Moyennes.	24 460	15.10	23 200	16.70	21 750	15.10

La variété *Magnum bonum* est trop connue pour que j'insiste sur ses qualités et sur ses défauts. Dans un terrain meilleur que celui de

Joinville, son rendement moyen dépasserait probablement 25 000 kilogr. et elle pourrait être comptée parmi les variétés à grand rendement.

Chez certains de mes collaborateurs, on a vu, en bonnes années, ce rendement s'élever à 30 000, 32 000 et même 37 000 kilogr. ; mais c'étaient là des exceptions très rares et, dans l'ensemble, la moyenne des rendements qui m'ont été communiqués a été, pour 18 cultivateurs, 22 040 kilogr. en 1893, 20 433 kilogr. en 1894 et s'est abaissée enfin à 18 000 kilogr. en 1895. Quant à la richesse en fécule, tombant quelquefois à 12 p. 100, s'élevant rarement à 18 p. 100, elle est restée généralement voisine de 15 à 16 p. 100.

Sous le nom de *Chardonne rouge,* on désigne, dans quelques régions, dans l'Oise notamment, une variété dont je dois le premier plant à M. Michon, de Crépy-en-Valois, et que j'ai introduite à Joinville en 1890.

A cette variété, j'ai bientôt reconnu une identité complète avec la *Red Skinned* ou *Balle de farine.* Le port de la plante, son feuillage, la forme et la couleur des tubercules sont absolument les mêmes dans l'un et l'autre cas ; le rendement et la richesse n'offrent de différences que dans les limites ordinaires des résultats de toute culture. J'ai cru néanmoins intéressant d'inscrire ici les rendements et les teneurs en fécule que j'en ai obtenus.

C'est à M. Paul Genay, de Lunéville, qu'est due la découverte de la variété *Canada,* aujourd'hui très répandue dans nos cultures. Cette variété a des qualités recommandables, mais, malgré tous les soins que je lui ai donnés, je n'ai pu, dans le terrain de Joinville, et sans doute parce que celui-ci est trop léger, en obtenir des résultats aussi beaux que ceux signalés par M. Paul Genay. Si l'on excepte la première année de culture, son rendement en poids n'a jamais dépassé 27 300 kilogr., pour le plus souvent s'abaisser au-dessous de 20 000 kilogr. Sa richesse en fécule est généralement restée faible et voisine de 15 p. 100.

Quelques-uns de mes collaborateurs ont été plus heureux et ont, en 1893, obtenu jusqu'à 25 800 kilogr. à 17.3 p. 100, mais la

moyenne générale de leur culture, pour cette année, n'a été que de 21 375 kilogr. ; en 1894, l'un d'eux a obtenu 32 000 kilogr., mais la moyenne générale n'a été que de 20 067 kilogr., avec une teneur moyenne de 15.8 p. 100, alors que, chez M. Paul Genay, le rendement était de 26 000 kilogr. à 18.4 p. 100 ; en 1895, la moyenne a été, chez quatre de mes collaborateurs, de 22 190 kilogr.

	SIMSON.		ASPASIA.		INSTITUT DE BEAUVAIS.	
	Kilogr.	Fécule p. 100.	Kilogr.	Fécule p. 100.	Kilogr.	Fécule p. 100.
1891 . . .	29 600 à	22.00	28 000 à	18.50	26 400 à	19.40
1892 . . .	24 700 à	15.50	21 200 à	10.00	19 000 à	13.00
1893 . . .	23 300 à	17.50	13 690 à	15.50	26 600 à	13.70
1894 . . .	22 540 à	15.10	23 260 à	14.70	14 980 à	12.00
1895 . . .	18 400 à	21.60	21 730 à	17.50	20 425 à	14.30
Moyennes.	21 700 à	18.30	21 580 à	15.20	21 480 à	14.48

La variété *Simson* a joui, il y a quelques années, d'une grande faveur en Angleterre et c'est d'Angleterre, en effet, qu'en 1890 je l'ai importée à Joinville, où je l'ai cultivée pendant cinq années. Son rendement, au début, était considérable et s'élevait à près de 30 000 kilogr. ; mais il s'est depuis notablement abaissé et n'a pas, en moyenne, dépassé 21 700 kilogr. de 1891 à 1895 ; cette variété, d'autre part, s'est montrée particulièrement riche (18.3 p. 100 en moyenne), mais elle a un grave défaut : les tubercules, petits et nombreux, s'y développent à l'extrémité de stolons allongés, de $0^m,15$ à $0^m,20$ quelquefois, ce qui rend, à l'arrachage, la recherche de ces tubercules longue et difficile.

La variété *Aspasia,* venue d'Allemagne, ne présente aucune qualité qui la recommande particulièrement.

La variété *Institut de Beauvais* est certainement l'une des plus répandues en France ; son rendement est quelquefois considérable ; mais, comme toutes les pommes de terre hâtives, elle réussit peu dans le terrain meuble et perméable de Joinville. Le rendement moyen qu'elle m'a donné en cinq années (21 480 à l'hectare) est inférieur aux rendements de 28 000 à 30 000 kilogr. qu'elle fournit

quelquefois, mais qui, cependant, dépassent notablement sa puissance productive habituelle.

En 1893, en effet, pour quatorze de mes collaborateurs, son rendement moyen a été de 20 645 kilogr. ; en 1894, il est tombé à 16 836 kilogr.; en 1895, enfin, il a été de 21 870 ; il est donc impossible de considérer l'*Institut de Beauvais* comme une variété à grand rendement.

Quant à sa teneur en fécule, je l'ai vue presque toujours osciller entre 14 et 15 p. 100.

La variété *Institut de Beauvais* n'a donc en réalité qu'une seule qualité, mais cette qualité a son prix, c'est d'être hâtive.

	VAN DER WEER.		BOURSIER.		INFAILLIBLE.	
	Kilogr.	Fécule p. 100.	Kilogr.	Fécule p. 100.	Kilogr.	Fécule p. 100.
	—	—	—	—	—	—
1887 . . .	34 800	à 17.00	33 380	à 13.00	22 780	à 13.50
1888 . . .	23 250	à 14.00	20 500	à 15.80	22 450	à 15.60
1889 . . .	27 350	à 15.40	21 400	à 17.60	39 000	»
1890 . . .	29 890	»	30 650	»	21 900	»
1891 . . .	17 200	à 14.80	22 600	à 16.60	15 600	à 18.50
1892 . . .	14 700	à 12.00	22 900	à 11.30	18 700	à 12.40
1893 . . .	13 100	à 16.90	10 450	à 15.10	»	»
1894 . . .	17 500	à 12.60	13 700	»	18 800	à 13.50
1895 . . .	12 600	à 14.50	13 850	à 19.30	»	»
Moyennes.	21 158	à 14.70	21 050	à 15.50	20 000	à 15.70

Le monde agricole n'a pas oublié l'engouement dont, il y a vingt ans environ, la variété *Van der Weer* a été l'objet; cet engouement a aujourd'hui cessé. La cause en est sans doute en ceci que cette variété n'était qu'incomplètement fixée et que, cultivée sans sélection, elle a rapidement, chez ceux qui l'avaient adoptée, perdu ses qualités du début.

Il en a été ainsi à Joinville, où, ainsi que je l'ai fait remarquer précédemment, toutes les variétés ont été abandonnées à leur libre allure, sans sélection. Le rendement en poids s'en est rapidement abaissé de moitié, tandis que sa teneur en fécule descendait en moyenne à 14.70 ; la variété *Van der Weer* n'est pas à recommander.

On en peut dire autant de la variété *Boursier ;* c'est au bien re-

gretté président de la Société d'agriculture de Compiègne qu'est due cette variété et c'est de lui qu'en 1886 j'en ai reçu le plant. C'est de la *Richter's Imperator* qu'elle dérive, mais, mal fixée, elle a été, à Joinville, dégénérant sans cesse sous le rapport du rendement en poids.

La variété *Infaillible,* que j'ai fait venir d'Allemagne en 1886, est certainement l'une des plus curieuses que l'on puisse étudier ; je n'en connais point d'aussi tardive, et, en neuf années de culture, je ne l'ai jamais vue parvenir à maturité. En 1889, l'hiver ayant débuté sans gelée, j'ai pu la laisser en terre jusqu'au 30 novembre ; à ce moment, le feuillage en était encore d'un beau vert et pas une feuille n'en était flétrie. En l'arrachant à ce moment, j'ai constaté un rendement qui, rapporté à l'hectare, n'eût pas été moindre de 39 000 kilogr.

Arrachée à la fin d'octobre ou au commencement de novembre, cette variété ne m'a jamais donné plus de 22 000 kilogr., mais il faut considérer qu'à ce moment elle était à peine arrivée aux deux tiers de son développement. C'est, en somme, une variété qui ne peut être cultivée en France, mais qui, sous d'autres climats, donnerait peut-être des résultats remarquables ; sa teneur en fécule s'est élevée, en 1891, jusqu'à 18.50 p. 100.

	ADIRONDACK.		GELBE ROSE.		ROSE DE LIPPE.	
	Kilogr.	Fécule p. 100.	Kilogr.	Fécule p. 100.	Kilogr.	Fécule p. 100.
1886 . . .	»		25 400	à 18.3	»	
1887 . . .	»		20 700	à 13.0	23 500	à 14.9
1888 . . .	»		29 100	à 16.0	23 550	à 14.9
1889 . . .	»		21 100	»	21 500	à 14.8
1890 . . .	»		24 475	»	21 140	»
1891 . . .	»		20 000	à 22.0	14 000	à 19.5
1892 . . .	19 800	à 13.7	12 800	à 17.3	17 700	à 13.7
1893 . . .	23 200	à 19.7	17 400	à 15.3	17 800	à 18.6
1894 . . .	22 200	à 15.1	12 260	à 17.6	20 800	à 12.2
1895 . . .	14 900	à 18.4	17 700	à 18.4	13 500	à 18.4
Moyennes.	20 000	à 16.7	20 083	à 17.25	20 430	à 15.8

La variété *Adirondack* n'a été cultivée à Joinville que pendant quatre années ; les résultats qu'elle a donnés en 1893, malgré la sé-

cheresse excessive de l'été, sont certainement intéressants ; c'est, en effet, par une production de 4570 kilogr. de fécule anhydre à l'hectare qu'on peut les traduire ; mais, en présence des rendements en poids et des richesses des autres années, on peut se demander s'ils ne sont pas exceptionnels. Pour se prononcer sur la valeur de l'*Adirondack*, des essais plus prolongés et des résultats plus concordants seraient nécessaires.

Parmi les variétés hâtives ou demi-hâtives dont j'ai pratiqué la culture, la *Gelbe rose* est certainement celle qui m'a donné les résultats les plus intéressants. C'est d'Allemagne qu'elle provient ; pendant dix années, je l'ai cultivée simultanément à Joinville-le-Pont et à Clichy-sous-Bois (Seine-et-Oise), et, dans l'un et l'autre cas, elle m'a donné des rendements très différents.

Si l'on examine d'abord ceux qui ont été obtenus à Joinville, dans un sol léger et chaud, il semble qu'à cette variété on ne puisse attribuer que de faibles mérites. On y voit, en effet, les rendements en poids s'abaisser rapidement et, en dix années, diminuer d'un tiers, deux fois même de moitié. En face de ce résultat, on serait tenté de croire que, variété mal fixée, la *Gelbe rose* dégénère rapidement. Ce serait une erreur que de conclure ainsi. J'ai fait, à ce propos, des essais directs nombreux, prolongés pendant plusieurs années, en apportant à Joinville du plant provenant d'autres terrains et, rapportant à ces terrains le plant de Joinville, essais desquels il est résulté qu'à la variété en apparence dégénérée, il est toujours aisé de rendre ses qualités premières.

C'est un manque d'appropriation du terrain à la variété que cette fausse dégénérescence est due ; le terrain de Joinville ne convient pas à la *Gelbe rose ;* saisie par les premières chaleurs dans ce terrain particulièrement meuble, la *Gelbe rose* voit, à la fin de juillet ou au commencement d'août, sa végétation s'arrêter brusquement.

Mais, si elle est cultivée dans un terrain plus argileux et moins léger, convenant mieux à ses aptitudes, elle donne alors des résultats singulièrement remarquables.

C'est ce que montrent les rendements et les teneurs ci-dessous indiqués qui, à Clichy-sous-Bois, ont été obtenus sur des surfaces

moins étendues qu'à Joinville, il est vrai, mais, cependant, dans les conditions exactes de la grande culture :

	Kilogr.	FÉCULE p. 100.
1886.	32 800	à 16.60
1887.	26 470	»
1888.	28 140	à 18.11
1889.	26 448	»
1890.	34 200	»
1891.	34 750	»
1892.	23 100	à 19.00
1893.	22 800	à 19.70
1894.	21 000	à 17.70
1895.	24 600	à 21.50
Moyenne	27 130	à 18.76

Ce sont là des résultats singulièrement remarquables et si les rendements et les richesses obtenus de 1885 à 1895 à Joinville-le-Pont, dans un terrain léger, m'ont obligé à ranger la *Gelbe rose* parmi les variétés à rendement moyen, il est certain que, d'autre part, les résultats que cette même variété m'a donnés pendant la même période lorsque je l'ai cultivée dans le terrain moins chaud et moins perméable de Clichy-sous-Bois, autoriseraient largement à la faire figurer parmi les variétés à grand rendement et parmi les meilleures.

Si l'on ajoute aux observations qui précèdent le fait de sa maturation hâtive qui, dans les conditions météorologiques ordinaires, la met à point pour être arrachée à la fin d'août, au plus tard aux premiers jours de septembre, on reconnaîtra, dans la *Gelbe rose,* la plus remarquable et la plus intéressante certainement de toutes les variétés demi-hâtives.

Aussi, ne saurais-je trop recommander aux cultivateurs d'en suivre la culture lorsque, sur leur exploitation, se rencontrent des terrains légèrement argileux, comme celui de Clichy-sous-Bois.

La variété *Rose de Lippe,* que j'ai fait venir d'Allemagne en 1886, et que j'ai cultivée pendant neuf années, n'offre, en réalité, rien de remarquable ; c'est une pomme de terre de qualité ordinaire, qu'il n'y a pas lieu de recommander.

Variétés à faible rendement.

Dans cette classe, j'ai rangé une vingtaine de variétés que j'ai cultivées à Joinville, les unes pendant neuf ou dix années, les autres pendant quelques années seulement. Les unes et les autres ne m'ont jamais donné que des résultats médiocres, et aucune d'elles ne saurait être recommandée à la grande culture comme pomme de terre industrielle et fourragère.

Quelques-unes, cependant, ont présenté des particularités intéressantes qui m'ont paru justifier un exposé rapide des résultats qu'elles m'ont donnés. Voici ces résultats :

	ALCOOL.		ROSALIE.		FLEUR DE PÊCHER.	
	Kilogr.	Fécule p. 100.	Kilogr.	Fécule p. 100.	Kilogr.	Fécule p. 100.
	—	—	—	—	—	—
1886 . . .	»		»		»	
1887 . . .	26 020	à 16.0	»		22 700	à 13.5
1888 . . .	23 800	à 17.4	»		22 050	à 15.8
1889 . . .	17 250	à 15.8	»		11 900	à 19.5
1890 . . .	26 900	à 15.8	»		23 216	à 19.5
1891 . . .	16 800	à 22.6	»		21 300	à 21.8
1892 . . .	14 700	à 17.7	14 300	à 15.8	20 000	à 13.7
1893 . . .	15 200	à 14.7	20 750	à 16.9	14 142	à 18.6
1894 . . .	17 300	à 14.7	18 950	à 14.3	21 200	à 17.4
1895 . . .	18 000	à 18.2	22 700	à 16.2	14 800	à 18.6
Moyennes.	19 950	à 17.1	19 170	à 15.82	19 140	à 17.3

La variété *Alcool* a été très prônée en Allemagne, principalement pour la distillerie ; elle peut, en effet, en certaines circonstances, atteindre, au point de vue de la teneur en fécule, un titre très élevé (22.6 p. 100 en 1891) et, d'une manière générale, on doit la considérer comme une variété riche, mais son rendement en poids reste toujours médiocre.

La *Rosalie,* très recommandée en Allemagne également, ne m'a donné à Joinville, pendant quatre années, que des rendements peu élevés.

La *Fleur de pêcher,* que j'ai fait venir d'Allemagne en 1886, est, d'après les résultats que j'en ai obtenus, tout à fait comparable à la variété *Alcool ;* elle est d'ailleurs particulièrement remarquable par la forme régulière et la coloration agréable de ses tubercules.

	SUTTON'S ABUNDANCE.		JUNO.		ÉLÉPHANT BLANC.	
	Kilogr.	Fécule p. 100.	Kilogr.	Fécule p. 100.	Kilogr.	Fécule p. 100.
1891 . . .	20 300	à 18.5	23 300	à 20.2	16 600	à 18.3
1892 . . .	25 000	à 13.5	35 000	à 14.0	23 000	à 12.0
1893 . . .	24 860	à 17.0	11 660	à 22.9	24 250	à 13.5
1894 . . .	10 700	à 13.1	11 620	à 18.2	15 340	à 12.3
1895 . . .	14 700	à 16.6	13 280	à 21.2	15 450	à 14.3
Moyennes.	19 112	à 15.7	19 034	à 19.3	18 930	à 14.1

Il y a quelques années, la variété *Sutton's abundance* était très vantée en Angleterre ; je l'ai introduite à Joinville en 1890, et cultivée pendant cinq années ; ses rendements, satisfaisants au début, se sont rapidement abaissés ; l'inégalité bien caractérisée des touffes sur une même pièce, les différences de forme des tubercules récoltés m'ont amené à penser que cette variété n'était pas complètement fixée ; cette manière de voir est confirmée par l'inconstance des résultats observés.

Pour la variété *Juno,* venue d'Allemagne, j'incline à penser que l'abaissement rapide de ses rendements en poids doit être attribué, comme pour la *Gelbe rose,* à un manque d'appropriation du terrain de Joinville à sa végétation ; on ne peut s'empêcher de remarquer, en effet, que sa teneur en fécule est restée constante et remarquablement élevée.

La variété *Éléphant blanc,* importée d'Allemagne en 1886, ne paraît pas avoir d'importance particulière.

	BISMARCK.		CHARDON.		CHANCELIER IMPÉRIAL.	
	Kilogr.	Fécule p. 100.	Kilogr.	Fécule p. 100.	Kilogr.	Fécule p. 100.
1886 . . .	»		24 800	à 15.8	»	
1887 . . .	»		31 200	à 13.0	»	
1888 . . .	»		21 500	à 14.0	»	
1889 . . .	»		15 000	à 14.8	»	
1890 . . .	»		18 700	à 14.8	»	
1891 . . .	20 800	à 24.7	17 200	à 19.2	25 600	à 24.2
1892 . . .	22 700	à 15.1	15 400	à 11.6	13 000	à 16.2
1893 . . .	12 850	à 23.7	10 750	à 20.1	16 020	à 24.5
1894 . . .	18 800	à 19.7	12 500	à 14.3	19 150	à 20.1
1895 . . .	14 310	à 21.7	11 601	à 17.1	13 600	à 23.4
Moyennes.	17 890	à 20.9	17 860	à 15.5	17 470	à 21.7

C'est par erreur qu'en France on a fait souvent de la pomme de terre *Bismarck* et de la pomme de terre *Chancelier impérial,* deux variétés distinctes ; sous ces deux noms, c'est une seule et même variété qu'il faut considérer, et à cette variété, c'est, à mon avis, en France du moins, la désignation de *Chancelier impérial* qu'il convient d'appliquer. Cultivés pendant cinq ans, sur deux pièces différentes, les tubercules que j'avais fait venir d'Allemagne, sous l'un ou l'autre de ces deux noms, ont fourni des plantes absolument identiques ; hauteur et garniture des touffes, disposition des tiges, des feuilles, couleur du feuillage, disposition, nombre, grosseur et poids des tubercules, sous tous les rapports, les plantes de l'une et de l'autre origine pouvaient être confondues, et si, laissant de côté les différences accidentelles de rendement en poids et de richesse correspondant à quelques années, on ne s'attache qu'aux moyennes, on reconnaît que celles-ci sont sensiblement identiques : 17 890 kilogr. à 20.9 pour l'une ; 17 470 kilogr. à 21.7 pour l'autre.

Les résultats fournis par la variété *Chancelier impérial* sont d'ailleurs remarquables ; la richesse de ses tubercules en fécule est certainement la plus considérable que l'on rencontre régulière et constante, mais le rendement en poids reste toujours faible ; et c'est en somme à une production de fécule à l'hectare inférieure à 4 000 kilogr. qu'on voit aboutir la culture de cette variété ; ce rendement est trop peu élevé pour qu'elle puisse être recommandée pour la production de la pomme de terre industrielle et fourragère.

La variété *Chardon* est certes la plus répandue en France ; mais elle est loin d'être la meilleure. Pendant dix ans, je l'ai cultivée à Joinville, sans soumettre le plant à une sélection méthodique et, dans ces conditions, j'ai vu son rendement, médiocre au début, devenir à la fin tout à fait misérable ; à une ou deux exceptions près, sa teneur en fécule a toujours été faible et, en moyenne, n'a pas dépassé 15.5 p. 100.

On doit admettre, cependant, qu'en certaines circonstances, la variété *Chardon* peut donner des résultats supérieurs, et l'on cite quelquefois des rendements de 25 000 kilogr. à l'hectare, sans que cependant la teneur en fécule dépasse 15 p. 100 ; mais ces résultats

sont exceptionnels et, pour fixer les idées au sujet du rendement de cette variété, il me suffira d'indiquer, à côté des chiffres ci-dessus, la moyenne des chiffres que m'ont fait connaître une douzaine de mes collaborateurs qui, dans ces dernières années, l'ont cultivée concurremment avec la *Richter's Imperator* et avec d'autres variétés.

En 1893, cette moyenne a été de 16 534 kilogr. ; en 1894, de 15 962 kilogr. ; en 1895, enfin, elle a été de 17 313 kilogr.

La variété *Chardon* est donc une variété à faible rendement qu'il conviendrait de remplacer en grande culture par des variétés plus productives et plus riches.

	JEUXEY.		JEAN RIVAT.		BROWNWELL.	
	Kilogr.	Fécule p. 100.	Kilogr.	Fécule p. 100.	Kilogr.	Fécule p. 100.
1886 . . .	28 400	à 16.7	»		»	
1887 . . .	20 535	à 14.0	»		»	
1888 . . .	26 290	à 15.3	»		»	
1889 . . .	20 700	à 15.3	»		»	
1890 . . .	24 460	à 15.3	»		»	
1891 . . .	10 700	à 15.7	»		»	
1892 . . .	11 750	à 15.7	24 250	à 14.3	»	
1893 . . .	9 090	à 13.1	14 350	à 20.2	16 600	à 15.1
1894 . . .	12 075	à 13.5	16 450	à 14.5	18 000	à 12.8
1895 . . .	8 320	à 14.2	12 500	à 19.0	15 900	à 16.6
Moyennes.	17 440	à 14.6	16 900	à 17.0	16 830	à 14.8

La variété *Jeuxey,* dont la culture est si largement développée dans les Vosges et que, pendant dix ans, j'ai cultivée à Joinville sans sélection du plant, ne m'a donné, à partir de 1890, que des résultats misérables et si, pour la moyenne décennale, c'est à 17 440 kilogr. que s'élève son rendement à l'hectare, c'est à la belle production des premières années qu'est dû ce résultat.

Est-ce à une dégénérescence fatale en l'absence de sélection ou à une fixation imparfaite de la variété qu'il faut attribuer cette faiblesse de rendement et la pauvreté en fécule qui lui correspond ? C'est à cette explication qu'il conviendrait de s'arrêter, si l'on s'en rapportait à l'opinion qui a cours dans les Vosges où, d'année en

année, on constate, pour cette variété, des rendements de plus en plus faibles.

Est-ce, au contraire, au défaut d'aptitude du terrain de Joinville et, peut-être, de certains terrains des Vosges pour le développement de cette variété? Je serais tenté de me ranger à cette manière de voir ; à Clichy-sous-Bois, en effet, cultivée pendant dix années successives, dans un terrain où sans doute elle a rencontré des conditions plus favorables au développement de ses qualités, la *Jeuxey* m'a donné des résultats différents, comme le montre le tableau ci-dessous :

	Kilogr.	FÉCULE p. 100.
1886.	26 750	à 16.6
1887.	21 965	à 16.6
1888.	33 028	à 18.11
1889.	27 500	à 18.11
1890.	37 700	à 18.11
1891.	32 850	»
1892.	24 200	à 14.7
1893.	22 700	à 14.7
1894.	22 960	à 18.4
1895.	23 880	à 17.7
Moyennes.	26 283	à 17.10

C'est donc, en certains terrains, une variété recommandable que la *Jeuxey ;* mais les conditions que ces terrains doivent remplir ne sont pas établies ; en des terrains différents, surtout dans les terrains perméables, elle perd rapidement ses qualités natives, et, par suite, pour les besoins de l'industrie, de la féculerie, de la distillerie, pour l'alimentation du bétail, il convient de lui préférer des variétés présentant, au point de vue du rendement et de la richesse, une plus grande constance.

La variété *Jean Rivat* m'a été offerte par l'habile cultivateur des Vosges qui lui a donné son nom, M. Jean Rivat ; en 1893 et en 1895, sa richesse en fécule a été grande ; malheureusement, à cette grande richesse, correspond un faible rendement en poids.

La variété *Brownwell* ne présente aucune qualité digne d'attention.

	EOS.		KORNBLUM.		NÉGRESSE.	
	Kilogr.	Fécule p. 100.	Kilogr.	Fécule p. 100.	Kilogr.	Fécule p. 100.
1887 . . .	18 000	à 13.5	»		»	
1888 . . .	23 500	à 16.3	23 800	à 16.3	»	
1889 . . .	11 100	à 18.4	16 700	à 16.5	»	
1890 . . .	22 700	à 18.4	21 050	à 16.5	»	
1891 . . .	13 300	à 20.0	13 800	à 21.2	»	
1892 . . .	16 300	à 15.5	21 500	à 12.2	31 500	à 15.1
1893 . . .	13 000	à 17.3	4 700	à 16.9	13 100	à 20.7
1894 . . .	15 000	à 15.1	11 600	à 16.0	15 050	à 16.9
1895 . . .	10 600	à 14.5	7 400	à 19.7	6 400	à 16.0
Moyennes.	15 940	à 16.3	15 060	à 16.9	15 000	à 17.0

Les variétés *Eos* et *Kornblum,* prônées en Allemagne, ne m'ont donné, à Joinville, que des résultats médiocres.

La variété *Négresse* n'a été cultivée que comme curiosité ; son rendement en poids, de 1892 (31 500 kilogr.) et sa richesse en 1893 (20.7 p. 100), sont cependant intéressants à signaler.

	DABERCHE.		MEILLEURE DE BELLEVUE.		KERNOURS.		AURÉLIE.	
	Kilogr.	Fécule p. 100.	Kilogr.	Fécule p. 100.	Kilogr.	Fécule p. 100.	Kilogr.	Fécule p. 100.
1887.	26 000	à 15.0	»		»		»	
1888.	21350	à 16.1	»		»		21 200	à 16.6
1889.	13 000	à 18.6	»		»		11 600	à 18.4
1890.	9 288	à 18.6	»		»		21 050	à 18.4
1891.	10 100	à 20.2	. . .	à 20.2	21 900	à 17.9	17 600	à 22.0
1892.	18 300	à 14.7	20 000	à 14.5	21 900	à 12.0	17 900	à 14.5
1893.	9 920	à 17.7	11 600	à 17.1	9 830	à 14.9	8 000	à 21.2
1894.	11 700	à 17.3	14 650	à 15.8	5 400	à 12.0	16 400	à 18.2
1895.	11 100	à 18.2	9 500	à 18.3	12 000	à 17.3	6 100	à 21.7
Moy..	14 530	à 17.2	14 470	à 17.2	14 200	à 14.2	13 600	à 18.9

La variété *Daberche,* venue d'Allemagne, n'a fourni généralement, à Joinville, à partir de la troisième année, que des rendements en poids très faibles ; c'est, je crois, une variété incomplètement fixée, mais qui, sélectionnée avec soin, fournirait sans doute des tubercules riches ; trois fois, sa teneur en fécule s'est élevée au-dessus de 18 p. 100 ; elle a même dépassé 20 p. 100.

La *Meilleure de Bellevue,* créée par M. Paul Genay, à qui j'en dois le plant, n'a pu s'acclimater à Joinville, et ses rendements en poids ont été inférieurs à ceux qu'elle fournit à Lunéville ; sa teneur en fécule a été plusieurs fois élevée ; en moyenne, pour cinq années, elle a atteint 17.2 p. 100, comme la variété *Daberche.*

La variété *Kernours,* qu'à l'origine on avait considérée comme une pomme de terre industrielle et fourragère et dont la chair est d'une couleur jaune remarquable, doit être bien plutôt considérée comme pomme de terre de table.

La variété *Aurélie,* venue d'Allemagne, n'a jamais donné, à Joinville, que de faibles rendements en poids, mais elle s'est montrée presque toujours riche en fécule ; sous ce rapport, elle pourrait être rapprochée de la variété *Chancelier impérial ;* elle ne saurait convenir à la production de la pomme de terre industrielle et fourragère.

Conclusions.

Sans prétendre à une généralisation que les circonstances actuelles ne sauraient justifier, il est permis, cependant, de tirer des observations dont je viens d'exposer les résultats, quelques conclusions pratiques et utiles à nos cultivateurs.

Pour limiter l'importance de ces conclusions, il convient, bien entendu, de rappeler qu'elles ne sauraient s'appliquer d'une manière absolue qu'aux terrains graveleux et médiocres analogues à celui que j'ai cultivé à Joinville-le-Pont. Dans des terrains différents, ainsi que l'ont montré les recherches poursuivies à Clichy-sous-Bois (Seine-et-Oise), pendant dix années, les résultats qui, malheureusement, ne comprennent que quatre variétés ont été tout différents, et, plusieurs fois, j'ai eu à constater, parmi les communications qui m'ont été faites par mes collaborateurs, des différences non moins grandes.

Malgré cette restriction, basée sur la nature des terrains cultivés, les faits que j'ai recueillis n'en ont pas moins une valeur sérieuse ; c'est, en effet, dans le même terrain, cultivé d'une manière identique pendant dix années, que ces faits se sont produits, et c'est, par con-

séquent, sous l'influence exclusive des conditions météorologiques des années successives, que les résultats culturaux ont varié. C'est donc bien l'allure personnelle des variétés cultivées à Joinville que ces résultats m'ont permis de caractériser.

L'influence opposée de la sécheresse et de la pluie est nettement mise en lumière par l'étude des tableaux où, pour chaque variété, sont indiqués les rendements en poids et les richesses en fécule des dix récoltes faites de 1885 à 1895.

Lorsque la saison est sèche, le rendement en poids diminue, mais la richesse en fécule augmente.

Lorsque la saison est pluvieuse, au contraire, le rendement en poids augmente, mais la richesse en fécule diminue.

De telle sorte qu'en nombre de cas, on voit une même variété fournir à l'hectare, que la saison ait été sèche ou pluvieuse, des quantités de fécule très voisines.

Pour beaucoup de variétés, les différences de rendement et de richesse peuvent, suivant les cas, être considérables ; quelquefois, on voit ces rendements et ces richesses varier du simple au double, mais il est certaines variétés aussi pour lesquelles ces différences restent généralement limitées.

C'est naturellement sur les variétés à grand rendement et à grande richesse chez lesquelles cette qualité se rencontre au plus haut degré que le cultivateur doit porter son choix et, parmi celles qui son tardives, c'est la variété *Richter's Imperator* qui me paraît la plus recommandable. A côté d'elle, je place la *Red skinned* ou *Boule de farine*, l'*Idaho*, la *Géante sans pareille*. La *Géante bleue*, si je ne me trompe, ne doit pas être recommandée au même degré ; sans doute, elle peut donner, en poids, des rendements aussi élevés que la *Richter's Imperator ;* mais elle est bien moins constante que celle-ci et les variations qui se produisent, dans sa teneur en fécule, sous l'influence de certaines conditions météorologiques, doivent diminuer beaucoup la confiance du cultivateur.

L'étude des variétés hâtives ou demi-hâtives à grand rendement appelle d'une façon toute particulière l'attention des agriculteurs,

et parmi celles de ces variétés que j'ai cultivées, celles qui me paraissent les plus intéressantes, sont, d'abord la *Gelbe rose,* puis la *Géante de Reading*, la *Charolaise* et enfin la variété *Professeur Merker,* que je n'ai malheureusement pas eu le temps d'étudier suffisamment.

Plantées dans des terrains bien appropriés à leurs qualités, ces variétés hâtives ou demi-hâtives doivent, dès le mois d'août, fournir au cultivateur des rendements de 25 000 et même de 30 000 kilogr., avec des richesses de 16 à 17 p. 100 ; mais il me paraît imprudent de chercher à utiliser ces variétés dans les terrains légers et d'un échauffement facile, comme celui de Joinville-le-Pont ; les terrains un peu frais et qui, par leur sous-sol, maintiennent l'humidité, sont à mon avis ceux qui leur conviennent le mieux.

Parmi les variétés que j'ai étudiées et que j'ai groupées sous les titres de variétés à rendement moyen et de variétés à faible rendement, il en est certainement quelques-unes qui, cultivées dans un terrain approprié, pourront fournir des résultats supérieurs à ceux que j'ai obtenus à Joinville, mais je crains qu'en l'état actuel de nos connaissances, les terrains présentant les qualités qui leur conviennent particulièrement ne puissent être caractérisés à l'avance. C'est l'expérimentation directe qui, seule, peut permettre de reconnaître les aptitudes personnelles d'une variété déterminée pour un terrain déterminé.

Pour ne pas s'être conformés à cette règle, nombre de cultivateurs ont échoué en plantant, sur de grandes surfaces, des variétés nouvelles ou même des variétés déjà connues, mais dont les qualités n'avaient pas encore été expérimentées sur leur exploitation : telle variété, qui, dans un terrain approprié à ses aptitudes, donnera 25 000 ou 30 000 kilogr. à l'hectare, pourra très bien, dans un terrain différent, ne donner que 15 000 et même 10 000 kilogr.

Aussi, est-ce toujours, à mon avis, par une culture restreinte que doit débuter l'introduction, sur un terrain déterminé, d'une variété nouvelle, et est-ce seulement après deux ou trois années d'observation que la nouvelle venue doit être admise à la grande culture.

C'est non seulement aux variétés qui, dans d'autres terrains, ont

déjà fait leurs preuves que cette remarque s'applique, c'est également et c'est surtout aux variétés nouvelles qui, chaque année, sont présentées aux cultivateurs.

Jamais ceux-ci ne doivent s'arrêter dans la recherche de variétés supérieures à celles qu'ils ont l'habitude de cultiver. Et lorsque des variétés nouvelles leur sont présentées par des maisons honorables, ces cultivateurs agiront avec sagesse en acquérant aussitôt une quantité de plants suffisante pour en expérimenter la culture sur une surface modeste, un are ou deux ares par exemple. Cette expérimentation, bien entendu, devra être faite non pas dans le sol du jardin, mais en grande culture, au milieu des pièces mêmes où sont cultivées les variétés habituelles du domaine. Planter, dès le jour de l'apparition de ces variétés nouvelles, des quantités considérables de tubercules achetés à grands frais, serait une imprudence ; les négliger, au contraire, serait une imprudence encore.

LE NITRATE DE SOUDE

ET

LE PERCHLORATE DE POTASSE[1]

REMARQUES

A PROPOS DE QUELQUES INSUCCÈS DANS LA CULTURE DU SEIGLE

Par L. GRANDEAU

I

L'emploi du nitrate de soude qui, chaque jour, prend plus d'extension, en raison des excellents résultats que l'agriculture en obtient, a donné lieu dans ces dernières années à plusieurs accidents locaux qui ont été l'objet d'appréciations diverses et n'ont pas reçu jusqu'ici une explication décisive. Autant pour mettre en garde les cultivateurs contre les craintes exagérées provoquées par ces accidents, que pour provoquer de leur part des observations précises, si l'occasion s'en présentait au printemps prochain, il nous paraît utile de leur présenter un résumé sommaire de l'état de la question.

L'agriculture consomme aujourd'hui plus d'un million de tonnes de nitrate, correspondant, à raison d'un épandage moyen de 200

1. On trouvera plus loin l'intéressant rapport de M. Crispo sur les accidents provoqués par l'emploi du nitrate de soude en 1896. Il m'a paru utile d'en faire précéder la reproduction par les remarques que je consigne ici d'après les publications récentes, postérieures au rapport de M. Crispo. L. G.

kilogr. de ce sel à l'hectare, au nitratage d'environ cinq millions d'hectares. Par rapport à cette énorme consommation, les accidents constatés se sont bornés à de faibles surfaces ; on voit qu'il s'agit là de faits purement accidentels, ce qui n'empêche pas qu'il y ait intérêt à en découvrir les véritables causes.

Depuis 1892, on a constaté en Belgique et sur les bords du Rhin, dans certains champs de seigle nitratés, le développement anormal et le dépérissement de cette céréale. Le nitrate provenant d'un chargement arrivé au printemps de 1893 a été le point de départ des accidents observés. Suivant M. de Caluwe, des effets du même genre auraient été constatés antérieurement.

M. Stutzer, de Bonn, témoin de faits analogues, a étudié la maladie que présentait le seigle ; il a constaté que les plantes, d'abord très vertes, prenaient au bout d'un temps variable (deux à quatre semaines) après l'épandage du nitrate, un aspect brun, les tiges devenaient cassantes et tortueuses : quand la plante résistait, la hampe et l'épi étaient courts, les grains imparfaitement formés et petits. De ces observations, M. Stutzer a conclu, contrairement aux assertions d'autres agronomes, que ces accidents ne sont pas dus à une impureté du nitrate (perchlorate de potasse) dont je parlerai tout à l'heure, mais aux conditions particulières du sol et à l'insuffisance de son humidité, d'où résultait le contact des racines avec une solution trop concentrée de nitrate.

Quelques observateurs et notamment M. Sjollema, de la station de Wädensweil, ont émis une autre opinion, d'après laquelle il faudrait attribuer à la présence du perchlorate de potasse dans le nitrate du Chili les accidents constatés.

A la suite de ces assertions contradictoires et en vue d'élucider la question, M. P. Wagner a entrepris, en 1897, une série d'essais, tant à la Station agronomique de Darmstadt que chez les cultivateurs de sa région, en se servant de nitrate de soude à teneur, déterminée par l'analyse, en perchlorate de potasse. Les résultats de ces expériences et des essais culturaux n'ont pas confirmé les vues de M. Sjollema. Telles sont les phases par lesquelles a passé la question. Avant d'examiner plus en détail les observations de MM. Sjollema et Wagner, je rappellerai quelques points relatifs à la constitution du

nitrate de soude du commerce, indispensables pour l'intelligence du sujet.

Le nitrate de soude qu'emploie l'agriculture est, comme on le sait, un produit industriel résultant du traitement, au Chili et au Pérou, des nitrates bruts appelés *caliches*, mélange complexe de divers sels accumulés depuis des siècles en gisements à peu près inépuisables. Le nitrate de soude pur est contenu, en proportions très différentes, dans les caliches : ceux du Pérou en renferment de 60 à 65 p. 100 ; ceux du Chili, de 10 à 47 p. 100. Le nitrate y est associé à des proportions très variables de sel marin, allant depuis des traces jusqu'à 28 et 30 p. 100 ; à du sulfate de soude (3 à 55 p. 100), à de faibles quantités d'iodate, de sulfate de magnésie, de chlorures alcalins et de matières insolubles, terre, etc.

On exploite le caliche à la mine ; un triage sépare la majeure partie des matières terreuses. Les morceaux de caliche débarrassés de terre sont traités par l'eau bouillante qui dissout une grande quantité de nitrate ; celui-ci se dépose par le refroidissement sous forme de cristaux, tandis que le sel marin, aussi soluble à froid qu'à chaud, reste presque entièrement dans le liquide. On arrive ainsi, du premier coup, à obtenir un sel titrant 94 à 96 p. 100 de nitrate pur. Les sels cristallisés, séchés au soleil, sont mis en sac pour l'expédition.

La découverte du nitrate remonte à 1825; on a exporté, cette année-là, 1 000 tonnes seulement de nitrate ; en 1850, l'exportation montait à 50 000 tonnes ; elle dépasse aujourd'hui, comme je le dis plus haut, un million de tonnes.

Le nitrate de soude, à l'état de pureté, est un sel blanc qui présente la composition centésimale suivante :

Acide azotique 63.53 correspondant à azote 16.47 p. 100.
Soude — 36.47

Ce sel est déliquescent, il attire l'humidité de l'air; à la température de 15 degrés, l'eau en dissout 84 p. 100 de son poids, ce qui explique la richesse en nitrate que peut atteindre, dans certains cas, la couche d'eau qui environne les racines.

Le nitrate du commerce est toujours mélangé à certaines impu-

retés que le traitement industriel n'en a pas éloignées. La teneur du produit commercial varie entre 94 et 97 p. 100 de nitrate pur. On peut donc admettre, comme moyenne, le chiffre de 95, ce qui correspond à environ à 15.60 p. 100 d'azote.

Les accidents survenus dans la fumure du seigle ont suggéré l'idée de faire des analyses du nitrate du commerce plus rigoureuses que celles qu'on possédait jusqu'alors : ces analyses y ont révélé la présence d'un sel qu'on n'y avait pas encore constaté, le perchlorate de potasse. C'est à ce composé de chlore et de potasse qu'on a cru pouvoir attribuer les accidents de culture que j'ai précédemment rappelés. M. P. Wagner a été conduit à considérer que cette impureté du nitrate est tout aussi normale que celle qui résulte de la présence des sulfates et des chlorures. Dans vingt échantillons de nitrate provenant d'autant de chargements distincts, M. P. Wagner a constaté la présence du perchlorate de potasse, à de faibles teneurs, comprises entre 0.14 et 1.65 p. 100. La moyenne des résultats obtenus à la station de Darmstadt serait de 0.75 p. 100.

De son côté, M. Sjollema a examiné, au point de vue de leur teneur en perchlorate, neuf échantillons de nitrate auxquels l'analyse a assigné les teneurs suivantes, en azote, en perchlorate et en chlore :

100 parties renfermaient :

	PERCHLORATE.	AZOTE.	CHLORE.
1. . .	0.14	15.5	0.31
2. . .	0.08	15.6	0.22
3. . .	»	15.4	0.72
4. . .	0.58	14.5	2.60
5. . .	0.94	15.4	0.43
6. . .	1.86	15.0	0.35
7. . .	3.16	14.6	0.72
8. . .	3.02	15.0	0.41
9. . .	6.79	13.4	0.90

Un premier fait découle de ces analyses, à savoir que la teneur en azote de 15 p. 100 et au-dessus est une garantie presque certaine d'une très faible proportion de perchlorate. M. Wagner regarde comme absolument exceptionnelle les teneurs de 3 à 7 p. 100 de perchlorate.

M. Sjollema a fait avec des dissolutions de ces divers nitrates, des essais de germination et de culture du seigle. Il a constaté que, mis en contact direct avec une solution aqueuse, renfermant 1 p. 100 de perchlorate, les grains de seigle germent lentement et que le développement ultérieur des plants issus de ces graines est médiocre ou mauvais. A la même dose, 1 p. 100, le nitrate de soude n'exerce aucune action nuisible sur la germination.

Des essais de culture en pots faits sur du seigle, semé dans 3 kilogr. de terre, à laquelle M. Sjollema avait ajouté de $0^{gr},05$ à $0^{gr},50$ de perchlorate de potasse ou de soude, ont montré qu'à ces doses, l'action de l'acide perchlorique est nocive; mais il faut remarquer tout de suite que 1/2 gr. de perchlorate pour 3 kilogr. de terre correspond à la dose énorme de 500 kilogr. de ce sel à l'hectare et le dixième de cette dose ($0^{gr},05$ par 3 kilogr.) représente encore une addition de 50 kilogr. de perchlorate à l'hectare, quantités qui, en culture, ne seront jamais atteintes, même de bien loin, par l'emploi du nitrate de soude le plus impur. Ces essais de M. Sjollema prouvent donc tout au plus l'action nocive du perchlorate de potasse, mais il n'est permis d'en tirer aucune induction au sujet de l'influence que l'épandage de quelques centaines de kilogrammes de nitrate de soude plus ou moins impur peut exercer sur le développement de ces récoltes.

II

Les faits observés par MM. Stutzer et Sjollema sur l'action nocive du nitrate de soude, dans quelques cas particuliers, ont engagé M. P. Wagner, directeur de la station de Darmstadt, à entreprendre des expériences en vue d'un examen plus approfondi de la question. Tandis que M. Sjollema attribuait à la présence du perchlorate les accidents survenus dans les champs nitratés, M. Stutzer avait pensé qu'il s'agissait là de causes extérieures, indépendantes de la nature même du nitrate. Un premier examen de nombreux échantillons de nitrate montra à M. P. Wagner que le perchlorate semble être une impureté du nitrate aussi normale que les sulfates et les chlorures.

M. Sjollema avait avancé, sans s'appuyer d'ailleurs sur aucun essai de fumure, que 200 kilogr. de nitrate de soude à l'hectare pouvaient donner lieu à des accidents, alors même que cet engrais ne renfermerait que 1/2 p. 100 de perchlorate. Il importait de vérifier expérimentalement cette assertion tout au moins hasardeuse, si l'on tient compte de ce double fait de la présence presque constante du perchlorate dans le nitrate brut, et du nombre immense d'hectares fumés, tous les ans, à des doses de nitrate fréquemment supérieures à 200 kilogr. dont les récoltes n'ont jamais souffert de cette fumure.

C'est la vérification de l'assertion de M. Sjollema que M. P. Wagner a demandée à des expériences faites en plein champ. Le sol de nombreuses parcelles a reçu du nitrate renfermant 1/2 p. 100 de perchlorate. Partout on n'a constaté qu'une influence favorable de ce nitrate. Une contre-vérification importante a pu être faite par M. P. Wagner. Il s'est adressé à des cultivateurs de sa région qui avaient employé des nitrates de diverses provenances : ceux-ci n'avaient pas été analysés avant l'épandage, au point de vue de leur teneur en perchlorate, mais les cultivateurs en avaient conservé des échantillons qui ont été examinés à la station de Darmstadt. M. Wagner a acquis la preuve que, dans aucun cas, on n'avait constaté d'action nocive des nitrates employés, bien que tous continssent du perchlorate et que l'un d'eux, le plus riche en cette impureté, renfermât 1.65 p. 100 de ce sel.

P. Wagner résume cette enquête expérimentale dans les termes suivants : « Le nitrate de soude ne s'est pas montré une seule fois vénéneux : bien qu'il renfermât, à côté des impuretés connues (quelques centièmes de sulfate et de chlorure), un peu de perchlorate, cela ne l'a pas empêché de produire les excédents de rendement qu'on pouvait attendre des doses de nitrate employées d'après les chiffres obtenus jusqu'ici. »

Comme, d'autre part, les teneurs en perchlorate trouvées par M. Sjollema doivent être considérées comme exceptionnelles, il y a lieu de poursuivre à fond l'étude de la question, afin d'établir clairement la dose de perchlorate qu'il y a lieu de tolérer dans les nitrates du Chili. Lorsque cela sera fait, ajoute M. P. Wagner, on

trouvera, si cela est nécessaire, les voies et moyens à employer pour écarter tout danger, ainsi que cela est arrivé, à propos de la présence du sulfocyanure d'ammonium dans les sulfates d'ammoniaque, dont on sait aujourd'hui se débarrasser.

M. Stutzer avait émis l'avis que la concentration du nitrate autour des racines, par suite de la sécheresse, avait pu nuire à la végétation. M. P. Wagner s'est proposé d'examiner les doses de nitrate que les végétaux agricoles peuvent supporter dans le sol sans en souffrir.

Les résultats des expériences qu'il a faites sur l'avoine sont très curieux et de nature à écarter toute inquiétude au sujet de la nocivité de doses exagérées de nitrate.

Dans des vases renfermant chacun 6 kilogr. de terre lehmeuse additionnée de 5 gr. de phosphate de potasse pour donner au sol la fumure fondamentale, on sema de l'avoine. On appliqua ensuite à chacun de ces essais des doses croissantes de nitrate de soude, sauf dans les pots destinés à servir de témoins.

Sept séries d'expériences, faites en double pour chaque essai, ont donné les résultats consignés dans le tableau ci-dessous :

NUMÉRO des essais.	QUANTITÉ DE NITRATE		RÉCOLTE (moyenne des deux essais par essai).	
	par vase.	correspondant à l'hectare.	Paille.	Grains.
—	—	—	—	—
	gr.	quintaux	gr.	gr.
1. . .	»	»	11,7	6,5
2. . .	0,5	10	107,5	65,2
3. . .	1,0	20	164,4	111,4
4. . .	1,5	30	205,4	153,3
5. . .	2,0	40	232,0	176,6
6. . .	2,5	50	232,7	184,3
7. . .	3.0	60	231,2	199,3

Ces expériences montrent quelles doses énormes de nitrate l'avoine peut supporter sans en souffrir, mais il faudrait se garder d'en tirer, au point de vue de la pratique, des conséquences qu'elles ne comportent pas. Dans ces expériences, purement physiologiques, dont le but unique était d'étudier l'action sur la végétation de doses excessives de nitrates, ce sel était réparti dans la terre avec une

perfection qu'on n'atteindra jamais dans l'épandage ni par le labour. Ce qu'il en faut retenir, c'est qu'aux doses maxima de nitrates que la culture emploie, 400 à 500 kilogr. à l'hectare, on n'a absolument rien à redouter, à la condition toutefois de ne semer que du nitrate moulu, afin d'en assurer la plus grande dissémination possible dans le sol. Une pratique excellente, dont on se trouve toujours bien, consiste à associer, dans le même but, le nitrate moulu à un certain volume de terre fine ou de plâtre. La répartition du mélange, répandu à la volée, est par là mieux assurée. Enfin, il ne faut pas semer le nitrate sur des récoltes couvertes de rosée, afin d'éviter l'action corrosive de ce sel sur les feuilles des végétaux.

En observant ces diverses précautions, on n'aura rien à redouter du nitrate aux doses courantes : 250 à 300 kilogr. pour les céréales, 300 à 400 kilogr. pour les plantes sarclées : pommes de terre, betteraves, etc.

RAPPORT

SUR LES

ACCIDENTS PROVOQUÉS PAR L'EMPLOI DU NITRATE DE SOUDE

AU PRINTEMPS 1896

Par M. CRISPO

Le *Précurseur* d'Anvers du 30 avril 1896 publiait la chronique agricole suivante :

AGRICULTURE

EFFETS FUNESTES DE L'EMPLOI DU NITRATE DE SOUDE

« Ces jours derniers, nous apprîmes que dans plusieurs localités de la Flandre occidentale : Swevezeele, Vyngene, Ruddervoorde, Cortemarck, Aeltre, Oedelem, etc., l'emploi du nitrate de soude a occasionné de véritables désastres. Une occasion fortuite nous ayant amené à Aeltre, nous en avons profité, pour faire sur place une enquête sur les conséquences de l'emploi en question et sur l'étendue des ravages qu'il a occasionnés.

« A Aeltre, nous avons parcouru en tout sens et dans toute leur étendue les champs de quatre des principaux cultivateurs ; nous avons causé avec ceux-ci en recherchant soigneusement s'il ne serait pas possible de découvrir la cause du malheur. Voici ce que nous avons appris et constaté. La chose nous paraît assez intéressante

pour en entretenir les lecteurs du *Précurseur*, dont un grand nombre s'occupent d'engrais chimiques ou d'agriculture.

« Il y a trois semaines, la récolte s'annonçait partout de la meilleure façon. On avait, comme tous les ans, en mars ou au commencement d'avril, répandu du nitrate de soude sur les champs de céréales; c'est ce qu'on appelle la fumure de tête, le coup de fouet.

« Le coup de fouet, cette fois-ci, se fit attendre ; bien pis encore, au lieu de se produire, les cultivateurs, à leur profonde stupéfaction, constatèrent que la pousse du blé s'arrêtait, que les chaumes se tordaient, se recroquevillaient !

« Grande fut leur désolation. On apprit bientôt que tous les champs sur lesquels on avait répandu du nitrate provenant du navire *Kinross*, débarqué à la fin de janvier dernier à Ostende, étaient atteints du terrible mal.

« Nous avons arraché un peu partout des plantes de céréales dont les racines étaient complètement brûlées ; il est impossible qu'elles se relèvent encore : la récolte est donc absolument compromise, sinon totalement perdue.

« Non seulement les champs où l'on a fait usage du nitrate ont souffert, mais il nous a été affirmé que même les cultivateurs qui ont employé sur leurs champs de l'engrais chimique fabriqué avec le nitrate dont il s'agit, ont constaté les mêmes effets, quoique à un degré moindre ; des traces de brûlure se montrent un peu partout.

« Les années précédentes, l'emploi du nitrate n'avait donné lieu à aucune plainte. Il est à remarquer en outre que seuls les champs, à ce que nous avons appris, où l'on a fait usage du nitrate provenant du *Kinross* ont été brûlés.

« L'analyse faite de différents échantillons de ce nitrate ne donne cependant aucune indication de nature à nous éclairer sur la cause du mal. Un échantillon pris chez un cultivateur qui avait acheté douze balles, dont il en a employé onze avec des résultats funestes et dont la douzième a fourni l'échantillon, a donné à l'analyse : 95.75 p. 100 nitrate de soude, 1.40 p. 100 sel de cuisine, 1.52 p. 100 eau, 0.97 p. 100 sulfate de soude et 0.36 p. 100 sable, pertes et *iode*. Or, l'iode qui pourrait être nuisible, s'il y en avait au moins

1 p. 100, ne saurait, dans ce cas, exercer la moindre influence défavorable.

« Nous ne nous attarderons pas à relater tout ce que nous avons entendu raconter sur les causes probables du désastre ; les savants, que la chose intéresse vivement, les découvriront probablement. Ce que nous pouvons ajouter, c'est que l'effet du nitrate se fait sentir avec d'autant plus d'intensité que la quantité répandue sur les terres a été plus forte.

« Nous avons remarqué aussi que les effets ont été plus nuisibles dans les terres légères que dans les terres fortes, dans les terres dont la fumure d'hiver a été moins abondante, moins riche que dans celles où cette fumure s'est faite dans d'excellentes conditions.

« L'émotion produite par le désastre inattendu qui frappe les cultivateurs d'une partie des Flandres, est profonde. Le coup porté à l'emploi du nitrate de soude est mortel. Il faut faire remarquer en outre que, si la récolte d'été est réduite en tout ou en partie, rien ne prouve que les nouvelles semailles que l'on fait en ce moment, ainsi que les plantations de pommes de terre dont on espère tirer quelque chose encore, ne seront pas perdues à cause de la présence dans le sol du nitrate de soude. Il y a d'ailleurs des exemples de cette influence persistante : de l'avoine semée sur une terre nitratée, labourée à nouveau, se meurt, ainsi que le trèfle que l'on a jeté entre le seigle !

« Il s'agira de remplacer le nitrate par un engrais plus riche en matières fertilisantes diverses et qui ne donnera pas lieu à d'aussi désastreux mécomptes. »

Les commentaires de cette correspondance trahissent l'intention de l'écrivain de déprimer l'emploi du nitrate de soude à l'avantage des autres engrais du commerce.

Cet article et d'autres, reproduits par la presse belge, eurent un retentissement énorme, dont l'écho se répercute encore aujourd'hui dans la presse étrangère. Une vague interpellation a eu lieu à la Chambre dans la séance du 5 juin 1896, à laquelle M. le Ministre de l'agriculture et des travaux publics a donné la réponse suivante :

« L'honorable M. Van Naemen, que je regrette de ne pas voir à son banc, m'a signalé un cas spécial dans lequel le nitrate de soude

employé dans un grand nombre de communes des Flandres a causé des dommages considérables. Le *Landbote* et le journal *l'Engrais* ont publié à ce sujet des articles intéressants. Je dois me borner à vous les signaler. Après les observations produites par l'honorable M. Van Naemen, j'ai reçu de M. Nyssens, directeur du Laboratoire de l'État, à Gand, le télégramme dont voici le texte :

« Il s'agit de nitrates ; nous leur trouvons une composition nor-
« male ; le mauvais effet, qui n'a pas persisté sur certains sols légers,
« doit être attribué au mode employé et à la saison défavorable.
« (Voir journal *l'Engrais* du 22 mai dernier.) »

« D'autre part, l'agronome de l'État à Gand, M. de Caluwe, m'a adressé ce télégramme :

« Les causes expliquant certains résultats défectueux obtenus par
« le nitrate de soude en couverture ne sont pas encore trouvées.
« L'inspecteur général Proost donne une explication plausible, basée
« sur le temps sec en mars. Toutes mes expériences ont donné des
« résultats négatifs. »

« Il résulte de là que, comme bien d'autres choses, les engrais chimiques doivent être employés avec beaucoup de prudence.

« Les nitrates employés étaient de bonne qualité, mais ils paraissent avoir été utilisés dans des conditions défavorables, à cause de la sécheresse anormale du sol et du mode employé. C'est donc à tort que M. Van Naemen a mis en cause les laboratoires de l'État en les accusant de n'avoir pas convenablement analysé ces nitrates. »

Qu'y avait-il de vrai dans tout cela ? Avait-on falsifié le nitrate de soude, ou contenait-il naturellement des matières toxiques ? Y avait-il eu excès d'emploi ou dénaturation et exagération d'accidents culturaux ordinaires ?

Consulté par différentes personnes de la Flandre occidentale sur les causes probables de ces accidents, nous avions émis l'avis qu'ils pouvaient être déterminées par les influences climatériques de la saison, en nous fondant sur les souvenirs du passé et sur des expériences que nous avions installées promptement sur trois plantes d'ornements en pots. Voici, du reste, un article publié par le journal *l'Engrais,* de Lille, du 22 mai, qui résume les éléments d'appréciation que nous possédions alors.

LE NITRATE DE SOUDE ET SES DÉTRACTEURS

LE NITRATE DU NAVIRE « KINROSS » — LES ACCIDENTS CULTURAUX DES FLANDRES. — DÉCLARATIONS DE M. CRISPO

Le nitrate de soude est, sans contestation possible, la matière azotée la plus puissante et la plus économique dont puisse actuellement se servir l'agriculture.

C'est l'exploitation des gisements de nitrate du Chili qui a facilité la transformation de la culture européenne. C'est ce puissant engrais qui a permis à la vieille Europe de ne pas succomber sous les importations des produits du nouveau monde. Le nitrate a permis d'opposer aux maigres récoltes obtenues sans engrais et sans grandes dépenses, aux Indes et en Amérique, nos propres produits agricoles, en compensant nos frais plus considérables de culture par des rendements plus élevés. En un mot, en obtenant avec le secours des engrais des rendements doubles et triples de ceux des pays précités, nous avons diminué largement nos frais de production, nous avons pu opposer notre culture intensive et industrielle à la culture pastorale et prime-sautière des pays neufs.

Or, la culture à grands rendements n'est possible qu'avec le secours du nitrate de soude et des engrais phosphatés. Jamais le seul emploi du fumier de ferme n'eût permis à l'agriculture européenne de faire les progrès marquants qui caractérisent la période de 1880 à 1896. Les praticiens les plus habiles, les Mathieu de Dombasle et autres agronomes émérites de l'ancienne école, malgré leur science agricole et leurs travaux opiniâtres, tournaient dans un cercle vicieux ; ils arrivaient rarement à faire de la culture rémunératrice. En effet, leurs efforts étaient toujours limités, parce qu'ils n'avaient pas à leur disposition les engrais chimiques, et particulièrement le nitrate de soude, ce produit dont l'action est véritablement magique, puisque, à la dose infime de 100 kilogr. par hectare, représentant *dix grammes* par mètre carré, on peut augmenter d'un quart la récolte des céréales.

Maintenant que l'Europe consomme annuellement près d'un million de tonnes de nitrate (quantité représentant *cent mille wagons* de 10 tonnes), on peut se demander ce que deviendrait son agriculture si, pour une cause quelconque — guerre, tremblements de terre, etc., — l'importation de ce puissant adjuvant venait à manquer pendant plusieurs années!

Bien certainement il y aurait un mouvement de recul très marqué dans la production générale, car le nitrate ne pourrait être remplacé. Toutes les autres matières azotées sont déjà utilisées; leur production ne pourrait être augmentée sensiblement, puisque toutes ces matières constituent des résidus ou des sous-produits de fabrication.

Heureusement, les éventualités que nous envisageons ne se réaliseront point. De plus, le nitrate est à prix très bas : tout fait supposer que pendant longtemps il restera à des cours fort avantageux pour la culture. Les agriculteurs ont payé anciennement le nitrate entre 30 et 40 fr. les 100 kilogr.; le prix actuel de 18 fr. 50 c. est donc une limite qu'on n'aurait pas osé espérer il y a quelques années.

Malgré toutes ces considérations qui nous semblent inattaquables dans leurs justes déductions, le nitrate commence cependant à avoir des détracteurs. Ceux-ci se posent en défenseurs des intérêts agricoles, mais si on les dévisage attentivement, on voit toujours que ces détracteurs sont ou des mécontents ou des intrigants, plus soucieux de leur propre bourse que de celle de leurs amis les cultivateurs. Le nitrate de soude a le tort immense, pour certains négociants, d'avoir des cours trop connus des masses agricoles; ce produit ne permet plus aux intermédiaires de réaliser de gros bénéfices : c'est ce qui explique certaines animosités. Le superphosphate est dans le même cas.

Cependant, aucune personnalité *désintéressée*, au courant des questions agricoles, ne songe à discréditer le nitrate. Du reste, la vogue sans cesse croissante de cette précieuse matière fertilisante montre mieux que tous les raisonnements son utilité et sa puissante action.

Rappelons quelle a été la progression des expéditions de nitrate en Europe depuis 1830.

Exportation du nitrate du Chili.

1830.	800 tonnes.
1840.	10 000 —
1850.	23 000 —
1860.	55 080 —
1870.	136 000 —
1880.	225 000 —
1890.	1 035 000 —
1895.	1 020 000 —

Exportations du nitrate du Chili et consommation depuis 1885.

ANNÉES.	EXPÉDITIONS du Chili.	CONSOMMATION du monde entier.	
		En Amérique.	En Europe.
—	—	—	—
	tonnes	tonnes	tonnes
1885	430 800	»	395 450
1886	445 400	60 000	409 615
1887	693 000	70 000	482 110
1888	758 300	68 000	637 200
1889	930 000	79 000	655 860
1890	1 035 000	104 000	779 810
1891	783 000	98 000	829 260
1892	795 000	97 000	784 380
1893	933 000	107 000	783 470
1894	1 082 000	100 000	882 150
1895	1 220 000	127 000	915 920

Cette année même, la progression dans la consommation s'est accusée d'une façon très sensible, sur les quatre premiers mois. Voici les chiffres comparés de la consommation sur cette période en 1895 et 1896 :

État comparatif de la consommation du nitrate sur les quatre premiers mois de 1895 et 1896.

Année 1895.

	ANGLETERRE.	ALLEMAGNE.	BELGIQUE.	FRANCE.
	—	—	—	—
Janvier.	2 690	25 950	5 150	7 600
Février.	4 980	30 870	10 900	21 600
Mars	13 670	83 160	35 600	50 300
Avril	29 750	83 150	31 250	42 480
Tonnes. . .	51 090	223 130	82 900	121 980

Année 1896.

	ANGLETERRE.	ALLEMAGNE.	BELGIQUE.	FRANCE.
Janvier.	8 070	30 030	7 830	14 230
Février.	12 650	93 330	25 850	44 650
Mars	22 480	73 270	42 650	60 950
Avril	22 200	42 250	17 200	19 200
Tonnes. . .	65 400	238 880	93 530	139 030

Augmentation de la consommation en 1896.

Tonnes.	14 310	15 750	10 630	17 050
Proportion p. 100.	28.009	7.058	12.821	13.979

On voit que les effets vont à l'encontre des idées que voudraient propager quelques détracteurs intéressés du nitrate. La consommation a augmenté graduellement, elle continuera à suivre une progression croissante.

C'est au moment où les avantages de l'emploi du nitrate sont universellement reconnus, que se place un incident fâcheux, dénaturé par les uns, singulièrement grossi par les autres.

Le navire *Kinross,* chargé de nitrate, est entré dans le port d'Ostende à la fin de janvier ; cette cargaison a été distribuée dans la Flandre occidentale ; elle a été utilisée en couverture sur céréales.

Or, selon les dires du *Précurseur* d'Anvers, cette fumure au nitrate aurait occasionné des effets funestes dans une série de villages des Flandres.

Le *Précurseur* a bien fait de signaler ces faits ; mais un journal aussi sérieux a eu tort de généraliser, en rapportant ces accidents culturaux sous la rubrique : *Effets funestes de l'emploi du nitrate de soude,* en ajoutant comme commentaire de son entrefilet : « Le coup porté à l'emploi du nitrate de soude est mortel ; il s'agira de remplacer le nitrate par un engrais plus riche en matières fertilisantes. »

Sous ce titre et sous ces réflexions, se cachent sûrement des négociants très désireux de vendre des engrais fabriqués, des tourteaux plus ou moins falsifiés, du guano *pur* ou mélangé, toutes matières

qui laissent au vendeur un gros bénéfice, alors que le nitrate, dont les cours sont universellement connus, ne donne qu'un très léger bénéfice, peu en rapport avec l'argent déboursé.

Inconsciemment, notre confrère, peu au courant des *dessous* de la vente des engrais, a dû être influencé ; il a fait, sans s'en douter, de la réclame pour tous les produits dont nous parlons en jetant un certain discrédit sur le nitrate, dont les excellentes qualités fertilisantes sont universellement appréciées.

Le nitrate ne peut être rendu responsable de son application *irrationnelle* et en quantité excessive sur des terres naturellement pauvres en éléments minéraux.

Il est à peu près certain que les accidents signalés sont dus à un excès d'azote par rapport aux autres éléments minéraux azotés servis trop rapidement sur une seule période.

Ceci résulte du reste des déclarations du correspondant du *Précurseur :* il constate que les terres sableuses et légères (terres naturellement pauvres en minéraux), et les terres n'ayant reçu aucune *fumure de base* avant l'hiver ont été particulièrement atteintes.

En Belgique comme dans le Nord, on abuse quelquefois du nitrate, on oublie qu'un élément, l'azote, ne peut nourrir normalement la plante que si les *deux autres* principaux éléments, acide phosphorique et potasse, ne font pas défaut. Dans les terres *fortes*, on peut souvent abuser du nitrate ; dans les terres *sableuses* et *légères* de la Flandre, il faut opérer avec plus de pondération.

Telle est la seule conclusion à tirer des incidents culturaux signalés dans les Flandres belges.

Le nitrate en lui-même n'est pas à incriminer. Très probablement la cargaison du *Kinross* était semblable à toutes les autres.

De ce que le vin généreux de France, cette ambroisie des mortels, aurait occasionné quelques coups de soleil à ceux qui en abusent, il ne viendrait à personne l'idée de le proscrire. De même, le nitrate, après comme avant ces accidents culturaux, sera toujours considéré comme le roi des engrais.

Nous avons voulu avoir des éclaircissements très précis sur les accusations portées contre le nitrate du *Kinross*. D'autant plus que

certains journaux agricoles, en France, se sont empressés de grossir cette affaire.

Nous savons fort que beaucoup d'intermédiaires préfèrent s'occuper des tourteaux de basse qualité — vendus de 5 à 8 fr. suivant espèces et sur lesquels on gagne 75 cent. à 1 fr. par 100 kilogr. — que de vendre du nitrate à 18 fr. 75 c. avec un bénéfice de 25 cent., si toutefois une variation de cours ne constitue pas le vendeur en perte. Nous déplorons, comme les intermédiaires, les mécomptes qu'occasionne la vente du nitrate, mais ce n'est pas une raison pour dénaturer les faits et en tirer des conclusions fausses.

Pour être bien renseignés, nous nous sommes adressés à l'honorable M. Crispo, le directeur du laboratoire agricole de l'État à Anvers, personne ne pouvant être plus au courant de la question que ce savant agronome.

Avec l'amabilité qui le caractérise, M. Crispo s'est empressé de nous répondre.

Il nous a communiqué le texte de la lettre qu'il a écrite à un intéressé sur cette question. Voici copie de cette lettre :

Anvers, le 8 mai 1896.

Monsieur H.,

J'ai examiné l'échantillon de nitrate que vous m'avez envoyé avec votre estimée du 23 avril. Ayant déjà analysé l'échantillon moyen du chargement du *Kinross*, il m'a semblé inutile d'en faire une analyse complète ; je me suis limité à y rechercher les matières étrangères ou nuisibles. Il en résulte que ce nitrate est comme bien d'autres : il contient un peu de nitrite de soude et de l'iodate de soude. La quantité de nitrite a été estimée à environ 0.07 p. 100, soit donc moins de 1 p. 1 000. La réaction de l'iodate était ordinaire. On n'a pas encore déterminé quelle est la tolérance des différentes plantes de culture pour le nitrite et l'iodate de soude. Cependant, comme ces sels se rencontrent normalement dans le nitrate en petite quantité, je ne crois pas qu'ils puissent être la cause de la destruction des récoltes.

Il est par contre possible que ces accidents soient dus à l'excès d'engrais azotés. On connaît, depuis qu'on emploie les engrais commerciaux, des faits analogues à celui que vous m'avez signalé. Il arrive fréquemment que si l'on donne au printemps un engrais trop azoté, et si la température est propice, les plantes croissent rapidement, les tissus végétaux restent faibles, et si alors il survient une petite gelée, ou seulement un brusque

refroidissement, les jeunes plantes périssent. Ces accidents sont plus à craindre dans les sols sablonneux que dans les argileux ; et je me rappelle fort bien que le cas s'est présenté il y a quelques années dans vos environs, à la suite aussi d'une application de nitrate. En résumé, je n'admets pas que le nitrate du *Kinross* soit différent des autres, et qu'il puisse déterminer la perte des emblavures.

Toutefois, j'ai commencé des expériences sur des plantes en pots avec les solutions à 1 millième de nitrate chimiquement pur et des solutions obtenues avec divers échantillons du nitrate incriminé. Jusqu'ici on ne remarque rien d'anormal.

Voici maintenant la déclaration que M. Crispo nous a faite :

Anvers, 14 mai 1896.

Monsieur le Directeur de l'*Engrais*,

En réponse à votre estimée d'hier, j'ai l'honneur de vous donner ci-joint copie de l'avis que j'ai déjà exprimé à ce propos à une des personnes intéressées.

Les plantes sur lesquelles j'expérimente *se portent toujours bien ;* mon appréciation sur les faits signalés reste encore la même.

L'article du *Précurseur* est regrettable. Le reporter, homme de bonne foi du reste, aurait dû se limiter à signaler le fait de la destruction des récoltes en disant que les cultivateurs l'attribuent à tort ou à raison à l'emploi du nitrate ; mais en ayant intitulé l'article : *Effets funestes de l'emploi du nitrate de soude,* il a jugé le procès avant l'instruction, et il a alarmé le monde agricole sans raison sérieuse.

L'échantillon moyen du chargement *Kinross* nous avait donné :

Humidité	2.18	4.90
Matières insolubles	0.30	
Chlorure de sodium	2.08	
Sulfate de soude	0.34	
Nitrate de soude (par différence)		95.10
Total		100.00
Azote calculé		15.66
Azote dosé		15.50

Cette analyse montre qu'il n'y a pas beaucoup de place pour des matières étrangères, en dehors des petites quantités de nitrite, iodate, chaux et magnésie, qui se rencontrent dans tous les nitrates.

Ce n'est pas la première fois qu'on observe la perte des récoltes à la suite de l'emploi du nitrate ; mais c'est la première fois qu'on veut l'attribuer à des matières étrangères y contenues. La présence de ces matières

dans le nitrate du *Kinross* n'est pas prouvée. Voilà, Monsieur le Directeur, l'état de la question. Je vous ai communiqué le peu que je connais, et vous pouvez faire de cela l'emploi qui vous convient.

Veuillez agréer, etc. CRISPO.

Nous remercions sincèrement M. Crispo de sa communication. L'autorité dont il jouit permettra de ramener ces incidents regrettables à de justes proportions et de fermer la bouche aux détracteurs du nitrate de soude. Ceux-ci s'étaient déjà empressés de faire en culture de la réclame pour leurs produits, en grossissant et en dénaturant les insuccès culturaux observés sur quelques points des Flandres. MAIZIÈRES.

Cet article, reproduit à son tour à profusion, a beaucoup contribué à apaiser le monde agricole ; mais il était évidemment insuffisant. Une enquête sérieuse s'imposait, dirigée par une personne n'ayant aucune attache avec la culture ou le commerce. Le résultat de cette enquête fait l'objet du présent rapport, et nous avons accepté cette mission, tous les actes de notre carrière ayant toujours été inspirés par l'intérêt supérieur de la justice et de la vérité. On aurait pu supposer qu'il était trop tard pour assumer cette responsabilité : en réalité, c'était le meilleur moment : les céréales étant épiées, on pouvait estimer mieux qu'en avril le rendement probable des champs atteints et l'importance des dégâts, et savoir aussi si le correspondant du *Précurseur* qui avait prédit la perte des récoltes confiées aux champs retournés, avait été bon ou mauvais prophète.

L'alarme avait été si vive, on croyait le désastre si grand, qu'en allant visiter les campagnes de la Flandre occidentale nous nous attendions à rencontrer sur les routes des petits cultivateurs ruinés, mendiant leur pain aux passants. Nous fûmes bientôt rassuré à ce sujet : la franche cordialité avec laquelle nous étions reçu, l'apparence en général très belle de la végétation, dont le lin seul faisait disparate, l'aisance relative de ce peuple paisible et laborieux entre tous, nous ont comblé de satisfaction. L'oubli était du reste fait sur ce fâcheux incident du commencement de la saison ; et en enquêtant sur des choses passées, nous avions l'air de réveiller une douleur depuis longtemps endormie.

Le navire *Kinross* est entré au port d'Ostende le 18 janvier : le nitrate qu'il portait, soit 2 050 000 kilogr., a été déchargé du 19 janvier au 21 février : pas un kilogramme n'a été mis en magasin, tout fut distribué en Flandre occidentale. Tout ce qui a été facturé entre ces deux dates, soit par MM. Schintz et Cie de Liverpool, soit par M. De Ceuninck d'Ostende, provient de ce navire. Comme toujours, la marchandise ayant passé par la filière de plusieurs intermédiaires avant d'arriver chez le consommateur, il n'est pas possible de donner une liste exacte de tous les cultivateurs qui en ont reçu. Je puis toutefois affirmer, d'après les plus minutieuses informations et l'analyse des échantillons que j'ai pu retrouver sur les lieux, que ce nitrate n'a pas subi la moindre manipulation ou falsification.

Voici une liste approximative des communes qui en ont reçu :

Aeltre.	Emelgem.	Menin.	Rumbeke.
Ardoye.	Eerneghem.	Meulebeke.	Ruddervoorde.
Beernem.	Furnes.	Moorslede.	Roulers.
Bruges.	Ghistelles.	Lophem.	Sainte-Croix.
Comines.	Gits.	Lendelede.	Steenbrugge.
Coolkerke.	Handzaeme.	Lichtervelde.	Staden.
Cachtem.	Hooglede.	Oedelen.	Swevezeele.
Cortemarck.	Heule.	Oostroosbeke.	Thielt.
Coolscamp.	Ichteghem.	Oostcamp.	Thourout.
Courtrai.	Ingelmunster.	Poelcapelle.	Wyngene.
Dickebusch.	Iseghem.	Poperinghe.	Zonnebeke.
Eecloo.	Jabbeke.	Pitthem.	

Dans les deux tiers de ces communes, il y a eu des dégâts plus ou moins importants aux emblavures de céréales à la suite de l'application du nitrate de soude. Nous avons visité les communes de Aeltre, Aeltre-Sainte-Marie, Ruysselede, Wyngene, Swevezeele, Ruddervoorde, Oostcamp, Steenbrugge, Sainte-Croix, Oedelen, Beernem, Knesselaere, Ursel, mais nos informations ont été étendues aussi aux autres communes ; et nous avons même visité une ferme à Nazareth près de Gand, dont les champs de seigle avaient éprouvé les mêmes dégâts.

Nature des dégâts. — Au sortir de l'hiver, qui avait été exceptionnellement doux, le seigle et le froment avaient très bonne appa-

rence ; mais quelques jours après l'application du nitrate, la croissance s'est arrêtée, beaucoup de plantes périrent par la racine, d'autres jaunirent et restèrent chétives, d'autres enfin furent entravées dans leur croissance par une maladie connue depuis longtemps sous le nom de *kxul,* mais qui n'avait jamais pris une aussi grande extension. Voici en quoi consiste cette calamité : le sommet de la jeune plante se recroqueville et jaunit ; le dernier internœud portant l'embryon de l'épi, ne pouvant se développer librement, se frise à l'intérieur de la gaine jusqu'au moment où, étant assez fort pour faire ressort, brise celle-ci et sort d'un côté. Les plantes atteintes par le mal restent chétives et sont dépassées par les autres, l'épi ne se redresse plus, garde la forme d'un crochet et ne donne que de petits grains de rebut. Nous avons observé fréquemment ce phénomène sur le seigle, et à un moindre degré sur le froment. Quant aux prairies, les dégâts ont été de moindre importance ; toutefois, il y en a eu aussi, mais avec les premières pluies les vides se sont fermés et il n'y plus rien à voir en ce moment.

Importance des dégâts. — Il serait téméraire de vouloir estimer, ne fût-ce qu'approximativement, la moins-value des récoltes atteintes dans toute la région ; mais ce qu'on peut affirmer sans crainte d'être contredit plus tard, c'est que les premières impressions et les reportages ont singulièrement grossi les faits : les *champs dévastés* et pour longtemps *stérilisés,* les emblavures retournées se réduisent à bien peu de chose. Ce qui est caractéristique, c'est que ceux-là mêmes qui ont fortement crié au début, tâchent aujourd'hui de cacher la situation réelle en vous renvoyant d'un village à l'autre : à Aeltre, on vous dira que les plus grands dégâts se trouvent à Ruddervoorde ; dans cette localité, on vous dira qu'il faut aller voir à Oedelen ; à Oedelen, on vous enverra à Steenbrugge ; de Steenbrugge à Wyngene, et ainsi de suite. C'est l'aspect misérable et jaunâtre du seigle au commencement de mars qui a fait redouter un désastre, mais aujourd'hui beaucoup de cultivateurs sont satisfaits[1]. Un marchand

1. Un cultivateur de Saint-André, qui était sur le point de retourner ses champs, a aujourd'hui les plus beaux seigles et froments des environs.

d'engrais de Ruddervoorde, le nommé Charles De Coninck, qui avait été entouré et menacé au marché de Bruges, a reçu depuis lors des excuses et a été assuré qu'il ne perdrait pas ses clients. En passant aujourd'hui à côté d'un champ atteint, sans être prévenu, on ne voit plus rien, il faut entrer dans les planches et écarter les chaumes pour apercevoir les dégâts : plantes pourries, chétives et ratatinées. La moins-value est estimée de 30 à 50 p. 100 ; les champs qui donneront moins se réduisent à quelques parcelles, et l'ensemble de ceux retournés, peut-être inconsidérément, ne dépasse probablement pas 2 à 3 hectares. Les dégâts ayant eu lieu presque tous dans une région à petite culture, les pertes seront bientôt réparées.

On a craint que les terres ayant reçu le nitrate ne restassent stériles à l'avenir. Cette crainte ne s'est heureusement pas réalisée : à Nazareth, les planches retournées n'ont pas été réensemencées ; à Aeltre, elles ont reçu des pommes de terre, du maïs et des navets. Ces nouvelles cultures avaient une belle apparence.

Les chargements incriminés — On est presque unanime pour admettre que c'est le nitrate du *Kinross* qui a causé le plus de dégâts, et que ces dégâts sont en proportion de la quantité employée, mais des nitrates d'autres provenances en ont aussi donné, quoique à un moindre degré ; nous sommes définitivement fixé à ce sujet. MM. X. et Z. d'Anvers ont fourni à un négociant d'Ichteghem du nitrate qui a donné lieu à des accidents. Celui livré par Sanders-Farazyn dans les environs de Snelleghem provient du chargement *Cambrian Princess,* entré à Ostende vers la fin de mars et dont l'analyse de l'échantillon moyen a donné :

Humidité	2.88	5.11
Matières insolubles	0.26	
Chlorure de sodium	1.52	
Sulfate de soude	0.45	
Nitrate de soude (par différence)		94.89
Total		100.00
Azote calculé		15.63
Azote dosé		15.63

Le nitrate employé par Beckaert frères, à Nazareth, et qui a été

le plus désastreux de tous, provenait du voilier *Gustave-Adolphe*, qui a déchargé à Anvers en février. L'analyse officielle avait donné :

Nitrate de soude.	95.22
Chlorure de sodium.	1.46

Il a été expédié d'Anvers, le 2 mars, par le wagon 73630, et employé tout de suite sur du seigle, en proportion normale de 200 kilogr. environ à l'hectare.

Il y aurait donc au moins trois chargements incriminés : le *Kinross*, le *Cambrian Princess* et le *Gustave-Adolphe*.

Mais il ressort nettement de l'enquête que tout le nitrate d'un même chargement n'a pas été nuisible : tel sac l'a été, tel autre, moins ou pas du tout. Un chargement étant souvent formé par les produits de plusieurs usines, nous avons recherché des échantillons authentiques sur les lieux mêmes des accidents, afin de nous rendre compte des différences de composition dans un même chargement, et s'il n'y avait pas par hasard des matières toxiques. Du *Gustave-Adolphe* nous n'avons plus trouvé aucun échantillon ; mais nous en avons trouvé encore deux du *Cambrian Princess* et sept du *Kinross*. M. de Ceuninck, de Ruddervoorde, nous a donné communication d'une deuxième analyse complète du *Kinross* faite par le laboratoire municipal de Bruges :

Humidité	1.90	5.56
Matières insolubles.	0.52	
Chlorure de sodium	2.32	
Sulfate de soude.	0.82	
Nitrate de soude (par différence)		94.44
Total		100.00
Azote calculé.		15.56

Les deux échantillons du *Cambrian Princess* sont assez semblables, tandis que ceux du *Kinross* diffèrent notablement entre eux, tant pour la composition chimique que pour les caractères physiques : il y a du nitrate blanc de neige et en gros cristaux, et du nitrate jaune d'ocre en petits cristaux, du nitrate gris, du blanchâtre et du farineux. Cette dernière forme, que nous connaissions depuis

longtemps et à laquelle on a attribué, il y a quelques années, des accidents semblables, est caractérisée par la présence d'une forte dose de chlorure de magnésium. Dans aucun échantillon, nous n'avons rencontré des sels toxiques en quantité anormale.

Nous résumons dans le tableau ci-contre les analyses faites sur les neuf échantillons.

Les sels nuisibles aux plantes qu'on peut rencontrer dans le salpêtre du Chili sont les suivants :

1° *Nitrite de soude.* — Le nitrite de soude en solution de 1 pour 1000 est, d'après les expériences de Molisch, toxique pour la plupart des végétaux. Les neuf échantillons analysés n'en contiennent, peut-on dire, que des traces, le dosage le plus élevé, celui du n° 3, étant de 0.00126 p. 100. Ce nitrate, en se dissolvant à la température de 10° dans le moins d'eau possible, donnerait une solution saturée contenant 80 p. 100 de nitrate et seulement 0.001 p. 100 de nitrite, ou *mille fois moins* que la quantité toxique. Il faut donc mettre le nitrite hors de cause dans les phénomènes qui nous occupent.

2° *Chlorure de magnésium.* — Le chlorure de magnésium est nuisible à forte dose ; mais la tolérance des plantes pour ce sel est toutefois bien grande. Certains sels bruts de Stassfurt, la karnallite, par exemple, qui en contient 10 à 35 p. 100 et qu'on emploie à la dose de 500 kilogr. et plus à l'hectare, introduisent en une fois dans le sol de 50 à 175 kilogr. de chlorure de magnésium. Il est vrai que l'application de ces engrais ayant lieu à la morte-saison, le chlorure de magnésium est en grande partie enlevé par les pluies avant le réveil de la végétation ; mais l'affinité du sol en retient toujours une certaine quantité. Cette affinité pour les sels de magnésie est très grande, ainsi qu'il résulte des expériences de Rothamsted. MM. Smets et Schreiber, en donnant directement des doses de karnallite de 12 500 kilogr. à l'hectare[1], soit donc 4 375 kilogr. de chlorure de magnésium, ne sont pas arrivés à tuer les jeunes plantes de céréales

1. *Emploi des engrais potassiques,* par C. Schreiber et G. Smets, à Hasselt, 1893, p. 61.

MATIÈRES.	CAMBRIAN PRINCESS.		KINROSS.						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Caractères physiques	grisâtre — —	grisâtre — —	farineux rougeâtre iode	farineux rougeâtre iode	grisâtre — —	blanc — —	rouge uniforme iode	blanc de neige — —	rougeâtre iode —
Azote nitrique	15.44	15.70	14.66	15.40	15.94	15.91	15.40	16.02	15.40
correspondant à									
Nitrate de soude	93.71	95.28	89.10	93.51	96.75	96.75	93.51	97.29	93.51
Eau	1.97	1.69	7.75	4.44	1.46	1.54	3.05	1.10	3.32
Nitrite de soude	0.00054	0.00054	0.00126	0.00054	0.00108	0.00108	0.00054	0.00108	0.00054
Chlorure de sodium déduit du chlore	0.15	0.17	2.38	1.49	0.23	0.37	1.55	0.37	1.09
Magnésie	0.089	0.077	0.49	0.24	0.063	0.110	0.217	0.095	0.25
correspondant à									
Chlorure de magnésium	0.212	0.183	1.166	0.571	0.150	0.262	0.516	0.226	0.595
Iodate de soude	0.004	0.015	0.087	0.038	0.011	0.013	0.040	0.016	0.033
Perchlorate de soude	1.04	0.97	0.31	0.55	»	»	0.93	»	0.90

dans un sol riche en chaux. Les sels de magnésie sont plus nuisibles employés en couverture et dans un sol pauvre en chaux, comme c'est le cas en Flandre occidentale. En considérant toutefois que le salpêtre n° 3, le plus riche en magnésie, ne contient que 1.166 p. 100 de chlorure de magnésium, ou $5^{kg},830$ sur 500 kilogr. dose maximum à l'hectare, on est obligé d'exonérer le chlorure de magnésium de toute participation dans les présents dégâts.

3° *Iodures et iodates alcalins.* — Tous les salpêtres du Chili non raffinés contiennent des iodates et parfois des iodures ; il en arrive même qui contiennent de l'*iode libre* qui leur donne une couleur rougeâtre[1] et une forte odeur. Ces nitrates ont toujours été considérés comme dangereux. Dans le chargement du *Kinross*, il devait y avoir du nitrate de cette qualité, car nous en avons rencontré un sac dans les magasins du Syndicat agricole de Bruges ; mais nous ne saurions pas dire dans quelle proportion il se trouvait dans le chargement.

Dans le commerce, on n'a jamais attaché beaucoup d'importance à la présence de l'iode libre dans le salpêtre et nous ignorons même si quelqu'un avait expliqué les circonstances de cette curieuse formation. Quoi qu'il en soit, nous le considérons comme un indice d'une très haute importance au point de vue chimique, parce qu'il accuse la présence simultanée dans le salpêtre de trois sels nuisibles : l'iodure alcalin, le chlorure de magnésium et le nitrite de sodium. Ces trois sels, en réagissant l'un sur l'autre, donnent naissance à de l'iode libre et à du bioxyde d'azote, dont le mélange avec l'air produit cette odeur *sui generis* qui tient de l'iode et du peroxyde d'azote. La réaction a lieu suivant l'équation :

$$NaAzO^2 + NaI + MgCl^2 = 2NaCl + MgO + I + AzO,$$

qui, en présence de l'air, donne des vapeurs rutilantes de peroxyde d'azote.

Les quantités d'iode et de bioxyde d'azote qui se dégagent en un temps donné sont probablement bien minimes : cependant, comme

1. La couleur rougeâtre provient le plus souvent d'un peu de terre ocreuse.

ces deux corps sont éminemment nuisibles et que leurs actions s'ajoutent, il n'est pas possible de les considérer comme inoffensifs sur les racines et les feuilles des jeunes plantes. Dans notre cas, sans pouvoir leur attribuer la cause générale déterminante des dégâts, on doit admettre que pour certaines parties de salpêtre ils ont pu agir comme adjuvants de la cause principale.

Quant à l'iodure alcalin, il résulte d'expériences faites au jardin de la Société agricole de la Flandre orientale par M. de Caluwe que, à raison de 25 kilogr. à l'hectare, ce sel ne trahit son action sur l'orge que par le jaunissement des pointes de quelques feuilles, sans nuire à la croissance de la plante. Les nitrates 3 et 7, qui contiennent le plus d'iodate de soude, n'auraient introduit dans le sol que $0^{kg},5$ de ce sel par hectare, soit cinquante fois moins que la dose avec laquelle on commence à constater une action nuisible avec l'iodure.

En confirmation de ces expériences, nous ajouterons que les eaux de fond de cale, provenant des bateaux de nitrate, ont toujours été vendues comme engrais, et nous n'avons jamais entendu dire qu'elles eussent déterminé la mort des plantes. Ces eaux, cependant, peuvent contenir de fortes doses d'iodate de soude. L'analyse d'un échantillon de ces eaux nous a donné les résultats suivants :

Densité.	1,406
Azote nitrique.	$73^{gr},72$ par litre
Nitrate de soude	447 ,58 —
Chlorure de sodium.	148 ,31 —
Iodate de soude	0 ,30 —
Iodures.	forte réaction.

Les iodures et iodates se concentrent donc dans les eaux de cale, et cependant nous n'avons pas entendu formuler de plaintes sur leur emploi en agriculture.

4° *Chlorure de sodium.* — Il résulte des expériences du professeur Vohltmann, de Bonn, faites par un temps sec, que le chlorure de sodium en solution à 0.5 p. 1000 commence à manifester une action nuisible sur les prairies par le jaunissement des sommets des feuilles ; en solution à 1 p. 1000, il y a aussi arrêt de la croissance ; à 5 p. 1000,

la végétation est très maigre, et à 10 p. 1000, la vie des plantes fourragères n'est plus possible. Seules les espèces sous-ligneuses résistent au chlorure de sodium. Le chlorure de sodium contenu dans le salpêtre du Chili peut donc, par un temps sec, contribuer avec les autres sels nuisibles à arrêter dans leur croissance ou à détruire les jeunes plantes de céréales.

5° *Perchlorate.* — Le docteur Sjollema, directeur de la Station agronomique de Groningen, a, le premier, signalé le perchlorate dans le salpêtre du Chili, où il en a dosé jusqu'à 6 p. 100 ; il attribue les accidents de cette année à sa présence dans le nitrate employé. Les dosages en perchlorate de nos échantillons ne dépassent guère 1 p. 100, et des expériences de culture en cours, entreprises par M. de Caluwe, à ciel ouvert et sous verre, avec les mêmes échantillons, n'ont donné jusqu'ici que des résultats négatifs. Nous lui avons adressé aussi un échantillon composé avec 6 p. 100 de perchlorate de potasse, qui n'a pas donné de plus mauvais résultats que les autres. Notre honorable collègue nous écrit une phrase bien significative : « Probablement à cause des pluies, l'expérience est négative. » Il en est donc probablement du perchlorate ce qu'il en est des autres sels nuisibles : leur nocuité dépend de la dose et de l'état d'humidité du sol. Mais n'anticipons pas imprudemment ; des expériences sont faites par M. Sjollema lui-même, et par la Station agronomique de Wiesbaden, et nous serons bientôt fixés à ce sujet.

Quelles sont les plantes qui ont le plus souffert ? — Le nitrate ayant été employé en couverture, ce sont surtout les céréales, dont les racines sont superficielles, qui ont été atteintes ; et le seigle étant la céréale prédominante en Flandre occidentale, c'est sur lui que les dégâts ont été les plus marquants ; les froments et avoines sont moins cultivés ; cependant nous avons vu aussi des champs atteints, chez Ambroise Olivier et la veuve van Bellem, à Aeltre, et chez un autre cultivateur, à Saint-André. Les dégâts aux prairies n'étaient plus visibles à notre passage. Les pluies ayant aujourd'hui dilué et entraîné le nitrate, il n'y a absolument rien à craindre pour les récoltes suivantes.

Causes probables des dégâts. — Une remarque générale, c'est que les dégâts ont été d'autant plus importants que le sol était plus sablonneux et pauvre et les plantes plus jeunes. Il y a un fait précis qui mérite d'être cité : le Syndicat de Bruges a fourni le 19 février deux parties de nitrate à Oedelen, l'un de 1 238 kilogr. et l'autre de 1 629 kilogr. et une troisième partie de 1 871 kilogr. à Snellegem ; il livrait en même temps 3 000 kilogr. à Meetkerke : à Oedelen, Snellegem et Varssenaere, tous trois en sols sablonneux, les dégâts sont encore visibles, tandis qu'à Meetkerke, en sol argileux, on a eu d'excellents résultats. En général, dans le polder du nord de Bruges, les dégâts ont été presque nuls. Les mêmes remarques ont été faites par d'autres personnes intervenues dans l'enquête.

Une autre constatation est non moins importante : c'est qu'en général on a abusé du nitrate. A Aeltre, une fermière en avait donné 3/4 de kilogr. par verge, ou 500 kilogr. à l'hectare (un hectare = 674 verges), dose absolument trop élevée pour un sol sablonneux, malgré qu'il ait été suffisamment fumé par l'application de fumier, superphosphate et sel potassique. Dans ces circonstances, on ne devrait pas dépasser 250 kilogr. Un autre cultivateur n'avait donné pour tout engrais que du nitrate à la dose de 300-400 kilogr. sur de l'avoine. Celle-ci était de beaucoup inférieure à un autre lot d'avoine qui avait reçu du nitrate et du guano composé. Un autre champ d'avoine, qui n'avait reçu en tout que 1 kilogr. de sulfate d'ammoniaque par verge, était aussi très en retard : l'avoine n'avait que la moitié de la hauteur du champ précédent. Cette tendance à l'exagération est déplorable, d'autant plus que dans beaucoup de fermes de cette région du pays, on réserve le fumier pour les environs de la ferme et aux terres éloignées on ne donne que du nitrate.

En examinant les conditions climatériques du 1er février au 15 avril (voir les tableaux à l'annexe), nous constatons qu'après un hiver exceptionnellement doux et sec nous n'avons eu en février que quelques gouttes d'eau, avec une température relativement élevée. Au mois de mars, le sol étant chaud, l'eau qui est tombée en abondance a donné à la végétation un essor extraordinaire. Mais entre le 27 mars et le 5 avril, il y a eu un fort abaissement de température, auquel les jeunes plantes gorgées de suc ne pouvaient être indiffé-

rentes. On sait parfaitement ce qui se passe en horticulture : si on ouvre inconsidérément les portes d'une serre chaude dans un moment de refroidissement, des plantes périssent. Il y a donc là un phénomène qui peut avoir eu son influence ; mais il y en a d'autres à considérer.

Les engrais chimiques sont en général immédiatement solubles, voire même hygroscopiques, et le nitrate de soude l'est à un très haut degré. Là où une parcelle d'engrais tombe, elle s'empare de l'humidité de l'air et de l'eau du sol qui l'entourent en formant une solution concentrée, une tache d'huile. Gare aux racines qui s'aventurent dans ce milieu. S'agit-il de superphosphate ou de sels à réaction alcaline, elles sont irrémédiablement perdues ; s'agit-il d'autres sels neutres, elles en souffrent plus ou moins fortement suivant les circonstances. Quelques développements à ce sujet sont nécessaires.

L'*âge* de la jeune plante, c'est-à-dire l'état de développement de son appareil radiculaire, rendra l'atteinte plus ou moins grave en ce sens que l'oblitération d'une partie plus ou moins importante de l'appareil radiculaire se traduira par la mort de la plante ou par un simple retard dans la végétation.

La *nature* et la *composition du sol* influent aussi : un sol sablonneux est généralement plus sec à la surface qu'un sol argileux. Par le même temps, un même engrais salin formera donc en sol sablonneux une solution plus concentrée qu'en sol argileux. Cela explique la différence d'action du nitrate, appliqué en même temps au sud et au nord de Bruges.

Dans le même sol, l'effet d'un même engrais semble pouvoir être différent suivant l'heure de l'épandage. Nous en avons une preuve évidente dans le cas de Nazareth, en sol sablonneux : le salpêtre a été appliqué dans les premiers jours de mars, par un temps sec, le matin sur une partie du seigle, l'après-midi sur l'autre ; le premier a été si fortement éprouvé qu'il a été retourné ; le second a bien résisté et donnera une récolte ordinaire. Il est donc probable que, le champ étant mouillé le matin par la rosée, le salpêtre y a formé une solution concentrée, tandis que, l'après-midi, le sol s'étant ressuyé, le salpêtre est resté solide et ne s'est dissous qu'à une première ondée, formant une solution diluée. Comment expliquer autrement

cet accident? L'insuffisance de la fumure, l'excès de nitrate ne peuvent être invoqués ici, car les frères Beckaert cultivent à la perfection, guidés par leur pratique et par la lumière de la science expérimentale, un champ d'expériences dirigé par l'agronome de l'État, M. de Caluwe, étant établi chez eux. Leur seigle de deuxième année avait été semé sur fumure verte de serradelle, suivie d'applications de superphosphate, et sur le jeune seigle on avait donné seulement 190 à 200 kilogr. de nitrate à l'hectare.

Le *krul* ne serait-il pas une manifestation de ce mode d'action du nitrate sur les organes aériens plus ou moins meurtris par le contact du salpêtre? Ayant envoyé quelques épis de seigle frisés à M. le Directeur de l'Institut agricole de Gembloux, afin de les soumettre à l'examen du spécialiste attaché à cet établissement, celui-ci lui adressa la réponse suivante :

Gembloux, le 17 juillet 1896.

Monsieur le Directeur,

Les épis de seigle que vous avez soumis à mon examen sont atteints d'une affection assez fréquente cette année dans nos Flandres, où elle est connue sous le nom de « krul ». Comme j'ai eu l'occasion de l'exposer récemment, cette maladie n'est pas de nature parasitaire, ni ne résulte de l'invasion d'aucun organisme, pas plus cryptogamique qu'animal.

Elle s'observe surtout par les années sèches dans les sols ayant reçu une application abondante de nitrate de soude. Ce sel, formant dans un sol non suffisamment pourvu d'humidité une solution relativement concentrée, entrave l'absorption de l'eau par la plante. Celle-ci ne peut en effet s'opérer que tant que la solution en contact avec les racines présente une concentration moindre ou plus exactement une tension osmotique plus faible que les sucs intraradiculaires.

J'apprendrais volontiers de votre correspondant si, dans le cas présent, mon opinion se vérifie encore.

Veuillez agréer, Monsieur le Directeur, l'expression de mes sentiments dévoués.

(*S.*) MARCHAL.

Le mode d'action des solutions salines concentrées et neutres sur les racines des plantes semble être complètement élucidé. D'après les uns, parmi lesquels M. Proost, notre inspecteur général de l'agriculture, ces solutions ayant une tension osmotique plus forte que

celle des sucs radiculaires, l'absorption de l'eau serait entravée. C'est ce que M. d'Hoore, le remarquable praticien qui dirige le Syndicat agricole de Bruges, a dit en termes intuitifs dans le *Burgerwelzijn :* « Les plantes ont eu soif.

« D'après la théorie de Clausius, il se produirait, au point de contact des solutions salines et des racines des plantes, des décompositions qui partageraient les sels en *ions*. Les ions basiques étant absorbés par les plantes, le sel deviendrait acide et nuisible aux racines si l'élément calcaire fait défaut. Cette théorie, appuyée du reste par les expériences d'Arrhénius, explique parfaitement l'action nuisible des solutions salines dans les sols sablonneux, pauvres en chaux, de nos Flandres.

« Les expériences de MM. Smets et Schreiber, nos agronomes de Hasselt, ont constaté que, à très hautes doses, tous les sels examinés : nitrate de soude, phosphate de soude, chlorure de potassium, sulfate de potasse, kaïnite, karnalitte, ont été nuisibles à la germination et à la vie des plantes en général.

« La durée du contact joue un grand rôle. S'il fait sec, les solutions ne se diluent pas assez et le contact dure plus longtemps que quand il fait humide. On peut constater parfois un retard notable dans la levée : mais bientôt, malgré ce retard, les plantes reprennent avec vigueur, les solutions ayant été diluées soit par la pluie, soit par l'arrosage. Employés en couverture, les sels sont plus nuisibles que mélangés intimement au sol. La longévité est d'autant plus grande que le pouvoir absorbant du sol est plus faible. Tel est le cas pour les terres sablonneuses. »

En résumé, les conditions climatériques exceptionnelles du printemps 1896 ont été la cause déterminante des dégâts, en provoquant dans le sol sablonneux des Flandres la formation de solutions concentrées nuisibles aux plantes. Les dégagements d'iode et d'oxyde d'azote d'une certaine partie du nitrate *Kinross,* en s'ajoutant à cette cause générique, ont probablement été le motif qu'on a eu de se plaindre de ce nitrate plus que des autres. Ce regrettable incident, qui occupera une page intéressante dans l'histoire du salpêtre du Chili, tout en ayant déterminé des pertes réelles, ne nuira pas, nous en sommes convaincu, à la réputation du nitrate auprès des

cultivateurs éclairés qui ne se laissent pas emporter par des exagérations et de fausses appréciations. Le nitrate est devenu l'arme indispensable de notre agriculture, obligée de produire beaucoup et vite, et dans ce but il ne saurait être abandonné ni avantageusement remplacé ; son emploi s'étend au contraire de plus en plus, autant comme engrais de fond que de surface. Pourtant, ces incidents auront eu le bon résultat de rendre les cultivateurs plus prudents en leur révélant les meilleures conditions de son emploi. Mais les producteurs de nitrate devront à leur tour tâcher d'écarter tous les produits suspects, en veillant soigneusement à l'élimination complète du perchlorate et de l'iode, ainsi que quelques usines le font déjà. Ce sera autant de gagné pour eux et pour l'agriculture.

Et nunc erudimini.

Anvers, septembre 1896.

ANNEXE.

Observations météorologiques d'Ostende.

MATIN.						MIDI.		
DATE.	ÉTAT du ciel.	TEMPÉRATURE à 8 heures.	TEMPÉRATURE Moyenne.	MINIMA de la nuit.	EAU par 24 heures.	ÉTAT du ciel.	TEMPÉRATURE.	HUMIDITÉ 100 = absolue.
20 janvier . .	brouillard	0° 6	3° 4	— 0° 2	0 0	brouillard	3° 2	98
21 — . .	—	1 0	2 0	— 0 8	0 0	couvert	2 6	64
22 — . .	couvert	1 9	1 9	0 6	0 0	très nuageux	5 0	87
23 — . .	—	2 1	3 5	1 9	gouttes	peu nuageux	5 3	74
24 — . .	—	1 0	2 1	— 0 7	0 0	—	4 1	75
25 — . .	pluie	1 4	1 9	— 0 5	0 2	pluie	2 1	94
26 — . .	couvert	5 8	4 3	1 7	8 6	brumeux	8 0	97
27 — . .	brouillard	4 0	5 1	2 9	0 4	couvert	5 9	97
28 — . .	couvert	4 5	5 5	4 0	0 0	pluie	5 4	97
29 — . .	peu nuageux	2 2	3 8	2 0	3 5	serein	5 6	89
30 — . .	brouillard	0 3	2 2	— 1 7	0 0	brouillard	2 3	100
31 — . .	—	1 0	1 9	— 0 5	0 0	—	2 9	97
1 février . .	brouillard	2 7	3 6	0 8	0 0	couvert	4 0	88
2 — . .	couvert	2 1	3 1	2 0	0 0	—	2 7	89
3 — . .	peu nuageux	0 2	1 9	0 0	0 0	brouillard	1 4	98
4 — . .	brouillard	0 8	1 9	— 1 3	0 0	—	— 0 9	98
5 — . .	nuageux	— 0 2	1 9	— 1 6	0 0	couvert	5 9	93
6 — . .	couvert	5 3	3 3	— 0 2	0 0	—	4 1	94
7 — . .	—	2 3	4 2	2 3	0 0	—	4 1	89
8 — . .	brouillard	— 0 8	1 5	— 1 0	0 0	peu nuageux	5 4	78
9 — . .	couvert	6 2	2 8	— 0 8	0 0	couvert	9 9	95
10 — . .	brouillard	2 8	5 9	2 6	0 1	serein	9 7	94
11 — . .	—	5 6	5 0	2 3	0 0	peu nuageux	9 8	78
12 — . .	peu nuageux	2 7	3 7	0 2	0 0	serein	11 0	67
13 — . .	couvert	6 8	6 7	2 3	1 1	couvert	5 6	89
14 — . .	peu nuageux	0 9	3 2	0 3	0 0	—	5 0	75
15 — . .	couvert	5 1	3 1	0 9	0 0	—	7 9	88
16 — . .	brouillard	2 8	4 8	2 8	gouttes	très nuageux	2 3	95
17 — . .	couvert	0 8	3 7	— 0 1	0 0	couvert	0 7	88
18 — . .	brouillard	3 2	1 2	— 3 5	0 0	peu nuageux	3 9	57
19 — . .	peu nuageux	1 5	2 1	— 3 2	0 0	serein	9 5	68
20 — . .	très nuageux	7 8	6 3	1 7	0 0	nuageux	13 0	75
21 — . .	couvert	6 3	10 1	6 3	0 0	peu nuageux	8 5	72

MATIN.						MIDI.		
DATE.	ÉTAT du ciel.	TEMPÉRATURE à 8 heures.	TEMPÉRATURE Moyenne.	MINIMA de la nuit.	EAU par 24 heures.	ÉTAT du ciel.	TEMPÉRATURE.	HUMIDITÉ 100 = absolue.
22 février . .	serein	1° 9	3° 7	—2° 3	0 0	serein	3° 0	82
23 — . .	—	—3 0	0 4	—3 3	0 0	—	2 1	82
24 — . .	—	—4 4	1 1	—6 1	0 0	—	1 9	86
25 — . .	peu nuageux	—4 5	—1 5	—4 8	0 0	—	—1 1	88
26 — . .	très nuageux	—4 2	—2 7	—0 4	0 0	couvert	—0 5	97
27 — . .	couvert	0 9	—1 1	—4 2	0 0	très nuageux	2 2	65
28 — . .	—	5 2	3 3	0 9	1 5	couvert	9 0	80
29 — . .	—	4 5	6 2	4 2	gouttes	pluie	5 5	95
1 mars . . .	couvert	7 0	5 7	3 9	6 0	couvert	10 0	95
2 — . . .	très nuageux	5 1	7 0	4 8	5 0	très nuageux	7 5	90
3 — . . .	couvert	6 7	5 9	4 6	0 0	couvert	5 3	91
4 — . . .	peu nuageux	1 9	4 9	1 6	9 5	peu nuageux	6 9	83
5 — . . .	nuageux	5 8	4 9	1 8	6 0	nuageux	8 5	74
6 — . . .	couvert	7 1	6 6	4 7	0 0	couvert	10 5	80
7 — . . .	nuageux	6 5	7 9	6 5	2 5	—	7 3	79
8 — . . .	pluie	10 0	8 0	5 1	7 7	pluie	11 0	95
9 — . . .	très nuageux	8 3	8 9	7 8	3 0	couvert	10 7	90
10 — . . .	serein	6 6	7 6	5 3	8 0	serein	8 6	79
11 — . . .	couvert	5 1	6 4	4 2	0 5	couvert	9 1	87
12 — . . .	—	5 8	7 5	5 3	2 0	peu nuageux	6 7	70
13 — . . .	très nuageux	4 0	4 8	2 4	0 0	couvert	6 3	62
14 — . . .	couvert	2 5	4 0	1 6	0 0	—	8 0	68
15 — . . .	nuageux	5 4	6 0	2 1	0 0	brumeux	8 3	91
16 — . . .	très nuageux	9 0	7 6	5 0	0 0	couvert	10 7	77
17 — . . .	peu nuageux	6 4	7 8	3 9	gouttes	très nuageux	12 0	78
18 — . . .	couvert	10 5	9 7	6 3	—	couvert	13 0	85
19 — . . .	—	6 0	9 7	5 8	0 1	pluie	5 6	92
20 — . . .	peu nuageux	5 1	4 3	—0 1	0 0	peu nuageux	11 5	72
21 — . . .	pluie	8 2	5 5	5 5	gouttes	couvert	12 2	87
22 — . . .	peu nuageux	10 5	10 2	4 1	0 0	serein	19 3	67
23 — . . .	serein	12 6	14 0	8 2	0 0	peu nuageux	18 9	65
24 — . . .	très nuageux	9 6	11 4	6 8	0 0	serein	20 1	59
25 — . . .	peu nuageux	12 8	15 0	9 0	0 0	peu nuageux	18 0	71
26 — . . .	couvert	8 5	12 6	8 3	8 2	couvert	10 0	86
27 — . . .	—	6 0	8 1	5 0	8 0	peu nuageux	8 6	76
28 — . . .	très nuageux	4 4	4 9	0 9	0 0	pluie	7 1	94
29 — . . .	—	5 0	5 9	3 6	13 5	peu nuageux	8 7	88

MATIN.						MIDI.		
DATE.	ÉTAT du ciel.	TEMPÉRATURE à 8 heures.	TEMPÉRATURE Moyenne.	MINIMA de la nuit.	EAU par 24 heures.	ÉTAT du ciel.	TEMPÉRATURE	HUMIDITÉ 100 = absolue.
30 mars . . .	très nuageux	6° 0	7° 1	4° 9	0 2	nuageux	7° 0	86
31 — . . .	couvert	5 0	5 9	3 9	1 0	couvert	6 0	86
1 avril . . .	couvert	4 1	4 6	2 5	0 4	pluie	7 7	96
2 — . . .	—	5 4	5 1	2 2	1 1	couvert	7 3	82
3 — . . .	peu nuageux	5 7	5 0	2 9	4 5	peu nuageux	7 3	69
4 — . . .	—	6 9	5 8	5 7	0 1	très nuageux	9 0	80
5 — . . .	—	7 3	7 4	4 6	2 0	nuageux	7 9	68
6 — . . .	couvert	8 7	8 7	7 2	gouttes	couvert	11 3	85
7 — . . .	peu nuageux	9 2	9 3	8 4	0 0	—	11 9	78
8 — . . .	—	10 3	10 5	9 1	0 0	peu nuageux	14 0	77
9 — . . .	couvert	10 0	10 4	8 9	0 0	couvert	12 2	75
10 — . . .	—	9 1	9 8	7 9	0 0	peu nuageux	13 7	55
11 — . . .	très nuageux	8 8	8 8	4 8	gouttes	couvert	8 7	83
12 — . . .	peu nuageux	6 9	7 6	5 0	2 8	nuageux	9 7	71
13 — . . .	couvert	5 4	6 2	1 9	7 0	couvert	7 3	73
14 — . . .	—	7 0	5 1	2 8	0 2	—	7 7	64
15 — . . .	très nuageux	6 5	6 7	5 1	0 1	très nuageux	8 5	72

DOUZE ANNÉES

DE

CULTURE DE TOPINAMBOURS

DANS UN MÊME CHAMP

PAR

M. G. LECHARTIER

Le topinambour a été l'objet de travaux importants; on doit signaler spécialement ceux de MM. Boussingault, Müntz et Ch. Girard qui ont étudié sa culture au point de vue des services qu'elle peut rendre dans l'alimentation du bétail, de son utilisation industrielle pour la production de l'alcool et des éléments fertilisants qu'elle enlève à la couche arable.

Nous avons publié dans les *Annales agronomiques* des recherches sur les variations de composition des tubercules, des tiges et des feuilles au point de vue des matières minérales. Ce travail avait été rédigé à un point de vue spécial. Les essais de culture que nous avions commencés en 1885 ont été continués sans interruption sur le même terrain dans le champ d'expériences de la Station agronomique de Rennes et nous avons pensé qu'il était utile de faire connaître, au point de vue pratique, les résultats que nous avons enregistrés.

Composition des tubercules, des feuilles et des tiges.

Pendant un certain nombre d'années, chaque carré du champ d'expériences a reçu le même engrais, plus ou moins incomplet, et

on a suivi la culture dans des conditions qui ne variaient que par la somme des éléments fertilisants dont la plante pouvait disposer.

De 1885 à 1891, les essais ont été poursuivis à l'aide des seuls engrais minéraux complètement privés d'azote.

Dans les années suivantes, on a eu recours aux engrais azotés et on a étudié l'action du fumier concurremment avec celle d'engrais ne contenant pas de matières organiques.

Enfin, nous avons cultivé, en même temps que la race rose commune, deux variétés qui nous ont été fournies par M. de Vilmorin : le topinambour patate et le topinambour jaune.

Nous avons déterminé la composition, au point de vue des matières minérales, des tubercules, des feuilles et des tiges dans les années 1886, 1887, 1888, 1894 et 1895 pour chacune des parcelles cultivées.

Les résultats analytiques inscrits dans un grand nombre d'ouvrages ne se rapportent pas toujours à des conditions nettement définies et les divergences que l'on y constate sont considérables, sans qu'on puisse en rechercher les motifs. Actuellement, il est devenu nécessaire de faire connaître les circonstances qui ont accompagné le développement des plantes dont on donne la composition. C'est à cette condition seulement que l'on pourra établir entre cette composition et les aptitudes du sol une corrélation de nature à renseigner utilement l'agriculteur.

Les analyses que nous publions correspondent aux conditions suivantes :

1° Terres ne recevant pas d'engrais, de bonne richesse naturelle en acide phosphorique et relativement pauvres en potasse assimilable ;

2° Mêmes terres ne recevant que des engrais phosphatés et s'appauvrissant de plus en plus en potasse et en azote ;

3° Mêmes terres cultivées avec l'emploi des seuls engrais potassiques et, par suite, fournissant sur leur propre fonds l'acide phosphorique et l'azote assimilés ;

La quantité de potasse incorporée au sol était au moins égale à celle qui pouvait être emportée par la récolte ;

4° Mêmes terres recevant à la fois des engrais phosphatés et potassiques, mais devant s'appauvrir en azote ;

5° Mêmes terres recevant ces divers engrais avec addition d'une dose d'azote assimilable suffisante pour produire de bons rendements.

Pour réaliser ces conditions, quatre carrés d'un are ont été réservés à la culture du topinambour et chacun d'eux a reçu, pendant cinq ans, la même nature d'engrais incomplet. Plus tard, ces mêmes carrés ont été soumis à l'action d'engrais complets azotés, ou même du fumier.

Le même carré se trouvera toujours désigné par la même lettre.

Pendant les cinq premières années, les engrais dont on a fait usage sont : le chlorure de potassium, le phosphate précipité, puis le superphosphate à partir de 1888.

Le *carré O* a été cultivé sans engrais.

Le *carré P* a été soumis au régime exclusif des engrais phosphatés. On a employé soit $6^{kg},25$ de superphosphate à 16 p. 100 d'acide phosphorique soluble, soit $2^{kg},63$ de phosphate précipité, quantités correspondant à 1 kilogr. d'acide phosphorique.

Sur le *carré K* on a répandu chaque année $3^{kg},5$ de chlorure de potassium.

Le *carré M* a reçu un mélange des mêmes quantités d'acide phosphorique et de potasse.

Les tubercules ont été plantés à $0^{m},50$ de distance sur les lignes espacées à $0^{m},65$. Chaque année on a planté des tubercules qui n'ont été arrachés qu'au moment même de la plantation.

Les pousses provenant des petits tubercules restés en terre ont été arrachées.

Pour ne pas donner un nombre de tableaux trop grand, nous avons pris la moyenne des résultats obtenus pendant plusieurs années pour des conditions identiques au point de vue des engrais. On a pu agir ainsi parce que les différences observées ont été très faibles et se sont toujours produites dans le même sens. Nous n'avons fait d'exception que pour une année exceptionnellement sèche. Nous avons inscrit à part la composition de la récolte.

Tous les résultats indiqués se rapportent à 1 000 parties de matière analysée.

	CENDRES.	SILICE.	CHLORE.	ACIDE sulfurique.	ACIDE phosphorique.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	POTASSE.	SOUDE.	AZOTE.
Tubercules à l'état sec.										
Carré O.										
Sans engrais. Années 1886-1888-1890	30.2	1.54	»	»	6.15	2.00	»	19.53	0.70	13 00
Sans engrais. Année sèche (1887) . .	»	0.66	»	»	3.90	2.10	»	16.40	»	11.00
Carré P.										
Engrais phosphaté seul	39.2	1.82	2.18	2.13	6.64	1.76	»	19.10	0.85	11.65
Année sèche	38.5	2.27	»	»	3.65	1.88	»	17.20	»	12.10
Carré K.										
Engrais potassique seul.	48.25	3.50	»	»	5.40	2.02	»	23.57	0.66	12.10
Année sèche	42.00	2.40	»	»	3.20	1.90	»	19.20	»	10.00
Carré M.										
Engrais phosphaté et potassique. . .	48.91	2.17	1.95	2.29	6.54	2.15	1.58	25.72	1.16	13.50
Année sèche	37.16	0.71	1.55	2.16	1.30	1.83	1.33	18.55	»	»
Divers carrés.										
Avec engrais complet.	45.17	0.36	3.73	2.13	5.70	1.90	1.14	24.31	0.82	11.57
Moyenne générale	41.69	1.30	4.19	2.23	5.65	2.00	1.30	22.16	1.22	12.07
Topinambours patates	47.79	0.45	4.23	2.19	6.01	1.92	1.23	25.69	1.56	»
Topinambours jaunes.	48.49	0.83	3.34	2.31	4.71	2.13	1.16	23.75	1.05	»
Carré sans engrais.										
Petits tubercules	»	»	4.44	1.91	6.04	2.26	1.15	18.61	1.09	»
Gros tubercules	»	»	3.24	1.82	7.04	2.12	»	23.46	1.44	»
Tubercules à l'état naturel.										
Carré O.										
Sans engrais. Années 1886-1888-1890	6.37	0.54	»	»	1.27	0.41	0.36	4.06	0.26	2.67
Sans engrais. Année sèche (1887) . .	»	0.14	»	»	0.80	0.42	»	3 36	»	2.25
Carré P.										
Engrais phosphaté seul.	8.27	0.24	»	0.57	1.38	0.37	0.34	3.96	0.18	2.38
Année sèche.	7.90	0.46	»	»	0.75	0.39	»	3.52	»	2.58
Carré K.										
Engrais potassique seul.	10.04	0.72	»	»	1.16	0.42	0.29	4.90	0.14	2.58
Année sèche	8.61	0.49	»	»	0.66	0.39	»	3.13	»	2.05
Carré M.										
Engrais phosphaté et potassique . .	10.10	0.35	1.21	0.47	1.26	0.44	0.28	5.35	0.24	2.29
Année sèche	8.50	0.16	1.04	0.50	0.98	0.42	0.30	4.24	»	»
Divers carrés.										
Avec engrais complet.	9.37	0.07	0.78	0.44	1.11	0.40	0.24	5.11	0.38	2.38
Moyenne générale	8.31	0.26	0.84	0.45	1.13	0.40	0.26	4.13	0.24	2.51
Moyenne de trois analyses de MM. Müntz et Ch. Girard	»	»	»	»	1.43	0.37	0.15	8.67	»	3.77
Topinambours patates	9.71	0.09	0.86	0.44	1.21	0.40	0.25	5.12	0.32	»
Topinambours jaunes.	10.55	0.17	0.68	0.49	1.00	0.46	»	5.03	0.19	»
Carré sans engrais.										
Petits tubercules.	»	»	0.89	0.38	1.21	0.45	0.23	3.75	0.21	»
Gros tubercules	»	»	0.92	0.52	1.99	0.60	»	6.64	0.41	»

	CENDRES.	SILICE.	ACIDE phosphorique.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	POTASSE.	AZOTE.
Feuilles de topinambours à l'état sec.							
Carré O	213.3	46.1	4.10	52.3	30.2	1.76	15.02
Carré P	»	59.8	5.78	53.9	29.2	1.93	15.10
Carré K	»	56.2	2.54	51.8	18.3	2.95	10.45
Carré M	211.7	45.1	3.04	55.1	12.1	2.91	11.70
Tiges de topinambours à l'état sec.							
Carré O	27.0	2.75	1.80	7.98	5.13	1.80	8.73
Carré P	27.0	2.73	2.00	8.01	4.59	1.16	7.33
Carré K	31.2	1.89	0.71	9.32	5.20	4.25	3.60
Carré M	28.6	2.24	1.13	9.20	4.97	3.29	5.00
Principes contenus dans 1 000 kilogr. de tubercules et dans les poids de tiges et de feuilles qui les accompagnent au moment de la récolte.							
Carré O	»	»	2.05	»	»	4.56	6.24
Carré P	»	»	2.25	»	»	4.64	6.16
Carré K	»	»	1.51	»	»	5.93	3.82
Carré M	»	»	2.00	»	»	5.78	6.24
Analyses de MM. Müntz et Ch. Girard : Moyenne de deux années	»	»	1.44	»	»	7.99	3.87

La composition que nous avons inscrite au tableau précédent pour les tiges et les feuilles se rapporte à cet état particulier de la plante que l'on récolte dans les mois de décembre, janvier ou février. A cette époque de l'année, les feuilles sont noires et sèches ; les tiges sont sèches et les tubercules sont arrivés à leur développement normal.

Au mois de septembre ou au mois d'octobre, les fanes vertes ont une constitution notablement différente, surtout en ce qui concerne la potasse. Même la richesse des feuilles en azote et en principes minéraux varie suivant qu'elles occupent le sommet ou le milieu de la tige, suivant qu'elles sont encore vertes ou prématurément jaunes.

Nous fournirons deux tableaux se rapportant, le premier au mois de septembre, le second au mois d'octobre.

Dans le premier, les feuilles et les tiges ont été récoltées en septembre 1887 sur des carrés soumis à l'emploi exclusif d'engrais incomplets. Les feuilles, prises vers le milieu des tiges, étaient déjà en partie jaunes. Dans le second tableau, les fanes récoltées en octobre 1895 étaient encore vertes et appartenaient à des plantes cultivées avec engrais complet.

	CENDRES.	SILICE.	CHLORE.	ACIDE sulfurique.	ACIDE phosphorique.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	POTASSE.	SOUDE.	AZOTE.
Feuilles du milieu de la tige (état sec). — Septembre 1887.										
Carré O.										
Sans engrais : Feuilles déjà jaunes	»	17.96	3.35	3.01	4.90	47.01	45.11	3.18	1.06	16.40
Carré P.										
Engrais phosphaté : Feuilles déjà jaunes	»	25.57	4.21	2.87	7.19	46.40	41.50	3.36	0.46	17.10
Carré K.										
Engrais potassique : Feuilles vertes	»	27.85	11.63	3.25	3.48	51.81	20.13	16.00	1.39	15.00
Carré M.										
Engrais phosphaté et potassique : Feuilles vertes	»	38.66	4.21	2.62	4.10	57.78	21.83	13.66	1.27	12.80
Feuilles de l'extrémité des tiges (état sec). — Feuilles vertes.										
Carré O	122.5	7.43	3.91	3.86	7.38	29.83	27.44	13.00	1.52	31.40
Carré P	115.8	7.93	8.44	3.83	10.43	28.53	25.65	17.94	1.85	36.90
Carré K	143.7	15.39	12.52	2.69	5.15	44.47	19.54	22.56	3.07	21.60
Carré M	155.4	16.06	11.62	2.30	5.38	46.22	20.47	21.40	2.83	19.60
Tiges (état sec).										
Carré O	17.7	0.29	»	1.53	2.08	4.16	3.76	2.96	0.36	8.50
Carré P	20.9	1.30	»	»	2.44	4.14	3.87	3.19	»	10.70
Carré K	25.8	0.76	»	»	1.29	4.67	3.34	7.71	»	4.30
Carré M	26.6	1.42	»	»	1.30	4.74	4.70	7.22	»	4.30

Les feuilles déjà devenues jaunes se distinguent des feuilles vertes

du milieu de la tige ou de l'extrémité supérieure, par une proportion de potasse beaucoup plus faible. Leur composition se rapproche déjà de celle des feuilles sèches qui sont récoltées aux mois de décembre ou de janvier. Ces dernières ont perdu la plus grande partie de la potasse qu'elles avaient assimilée et qui a été utilisée par les tubercules pour leur accroissement.

Fanes récoltées en octobre 1895.

	CENDRES.	ACIDE sulfurique.	ACIDE phosphorique.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	POTASSE.	SOUDE.	EAU.
Tiges à l'état sec.								
Carré P (engrais complet).								
Topinambour commun	30.48	0.55	0.80	6.61	1.80	10.26	0.27	»
Carré M (engrais complet).								
Topinambour commun	30.60	0.68	0.80	6.43	1.98	9.98	0.23	»
Topinambour patate.	31.58	0.86	1.07	6.72	1.93	9.88	0.40	»
Topinambour jaune.	35.17	0.65	1.08	6.85	1.85	12.42	0.00	»
Tiges (état naturel).								
Topinambour commun. Carré P.	10.80	0.19	0.28	2.31	0.61	3.61	0.10	645.5
Topinambour commun. Carré M.	9.80	0.22	0.23	2.07	0.63	3.21	0.07	678.6
Topinambour patate.	10.88	0.31	0.40	2.49	0.72	5.61	0.14	623.2
Topinambour jaune.	12.07	0.22	0.37	2.35	0.63	4.27	0.00	656.5
Feuilles à l'état sec.								
Topinambour commun. Carré P.	178.2	3.32	2.51	46.16	12.46	28.92	3.29	»
Topinambour commun. Carré M.	165.5	3.74	2.97	43.98	10.45	28.30	2.51	»
Topinambour patate.	159 9	2.94	3.88	38.05	12.36	28.77	1.36	»
Topinambour jaune.	175.7	3.58	4.65	39.70	12.09	34.96	2.52	»
Feuilles (état naturel).								
Topinambour commun. Carré P.	52.64	0.98	0.87	13.60	3.67	8.52	0.97	705.3
Topinambour commun. Carré M.	46.07	1.04	0.83	12.25	2.91	7.60	0.70	719.7
Topinambour patate.	50.06	0.92	1.22	11.91	3.87	9.01	0.43	687.0
Topinambour jaune.	41.48	1.05	1.28	11.63	3.54	10.25	0.74	706.9

Fanes (état naturel)

Se composant des tiges et des feuilles qui les accompagnent.

	CENDRES.	ACIDE sulfurique.	ACIDE phosphorique.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	POTASSE.	SOUDE.	PROPORTION des feuilles dans le mélange.
Topinambour commun. Carré P.	22.55	0.41	0.41	5.50	1.49	5.01	0.28	28.1
Topinambour commun. Carré M.	18.66	0.45	0.40	4.99	1.29	4.47	0.25	28.7
Topinambour patate.	24.42	0.52	0.62	5.74	1.81	6.43	0.24	34.6
Topinambour jaune.	21.66	0.49	0.66	5.37	1.58	6.22	0.24	31.8

Les feuilles vertes récoltées au moins d'octobre, à une époque où les tubercules sont loin d'être arrivés à leur développement normal, n'ont pas une composition identique à celle des feuilles qui garnissent encore les tiges deux mois plus tard. On n'observe pas de différences au point de vue de l'acide phosphorique. Les feuilles noires du mois de décembre sont plus riches en chaux et en magnésie. Elles contiennent une proportion de potasse infiniment plus faible, environ 9 fois moindre. La quantité ainsi perdue par les feuilles pendant la période de formation des tubercules est assimilée par ces derniers pour leur développement.

Sans entrer dans de grands détails relativement à la composition des tubercules, nous devons appeler l'attention sur les variations qui se produisent au point de vue de l'acide phosphorique et de la potasse.

Si on laisse de côté l'année sèche où l'on a pu constater un abaissement notable dans l'assimilation des principes minéraux, on trouve que dans les tubercules secs, la quantité d'acide phosphorique varie en moyenne de 5.5 à 6.6, c'est-à-dire dans la proportion de 5 à 6. Le minimum se produit en présence de l'engrais potassique dans le cas où, employé seul, il fait naître un supplément de récolte considérable.

D'ailleurs le nombre 6.6 p. 1 000 n'est pas un maximum ; nous avons obtenu des teneurs s'élevant jusqu'à 7.79 et les tubercules récoltés par MM. Müntz et Ch. Girard contenaient 7.15 d'acide phosphorique.

Les variations notées pour l'acide phosphorique sont plus faibles que pour la potasse. Comme nous le constaterons plus loin, l'absence d'engrais phosphaté a peu influé sur les rendements; elle a eu seulement pour effet de diminuer la teneur des tubercules en acide phosphorique; d'où il faut conclure que le fonds de richesse du sol en phosphates assimilables a satisfait aux besoins de la végétation dans les limites des expériences.

La privation d'engrais potassique a produit une diminution notable des rendements et a fait descendre la proportion de potasse de 25 à 19, soit de 100 à 75. Cette moyenne, 25.72 p. 1 000, n'est pas un maximum. Nous avons récolté, en 1894, des tubercules contenant 28.7 p. 1 000 de potasse. Ceux qui ont été analysés par MM. Müntz et Ch. Girard en contenaient 43 p. 1 000 pour des rendements analogues. Le champ de la ferme de l'Institut national agronomique doit être notablement plus riche en potasse que le champ d'expériences de la station de Rennes.

Composition des topinambours au point de vue alimentaire.

Nous avons analysé des tubercules et des fanes provenant des récoltes 1894 et 1895. Les fanes ont été coupées au mois d'octobre.

Nous avons comparé la variété commune avec les topinambours patates et les topinambours jaunes. Les résultats sont calculés pour 100 parties en poids.

TABLEAUX.

Tubercules.

ENGRAIS.	EAU.	CENDRES.	MATIÈRES azotées.	MATIÈRES grasses.	CELLULOSE brute.	SYNANTHROSE.	INULINE.	PRINCIPES hydrocarbonés indéterminés.
Topinambour commun.								
Décembre 1894 :								
Sans engrais azoté	79.76	1.02	1.00	0.063	0.75	10.6	2.0	4.8
	79.22	1.03	1.03	0.087	0.75	11.3	2.3	4.3
Fumier	79.41	0.97	1.19	0.065	0.77	13.5	1.3	2.8
	79.55	0.92	1.17	0.043	0.75	13.3	1.3	3.0
Janvier 1896 :								
Fumier	79.55	0.97	1.18	0.027	0.83	14.3	1.2	1.7
Décembre 1894 :								
Fumier et engrais chimiques	79.50	0.93	1.33	0.190	0.74	13.0	1.2	3.1
	79.15	0.97	1.46	0.023	0.76	13.6	1.1	3.0
Janvier 1896 :								
Fumier et engrais chimiques	79.79	0.96	1.33	0.087	0.78	12.7	1.1	3.3
	79.29	0.96	1.11	0.304	0.76	13.5	0.9	3.2
Décembre 1894 :								
Engrais chimiques seuls	79.29	0.90	1.14	0.042	0.73	12.2	1.0	4.7
Janvier 1896 :								
Engrais chimiques seuls	79.76	0.96	1.20	0.282	0.80	14.1	1.4	1.5
Moyenne générale	79.52	0.96	1.21	0.131	0.76	12.9	1.3	3.2
Topinambour patate.								
Mars 1895 :								
Tubercules fournis par M. de Vilmorin	80.20	1.07	0.84	0.105	0.71	12.7	0.3	1.5
Janvier 1896 :								
Fumier et engrais chimiques	79.00	0.87	1.31	0.087	0.79	12.8	0.6	3.6
	79.88	0.97	1.77	0.230	0.73	12.6	0.4	3.6
Moyenne	79.69	0.97	1.31	0.141	0.74	12 7	0.4	3.8
Moyenne avec engrais azotés	74.46	0.95	1.22	0.118	0.77	13.35	1.17	2.9
Analyses de MM. Müntz et Ch. Girard	77.0 à 80.0	1.30 à 1.65	2.00 à 2.27	0.11 à 0.22	0.66 à 0.88	12.4 à 14.7		2.6 à 4.1
Topinambour jaune.								
Mars 1896 :								
Tubercule fournis par M. de Vilmorin	76.00	1.12	1.28	0.101	0.91	15.2	0.5	4.9
Fumier et engrais chimiques	80.30	0.99	1.31	0 183	0.71	11.8	0.6	4.1
	80.19	1.00	1.29	0.168	0.72	13.1	0.4	3.2
Moyenne	78.83	1.01	1.29	0.151	0.78	13.4	0 5	4.1

	EAU.	CENDRES.	MATIÈRES azotées.	MATIÈRES grasses.	CELLULOSE brute.	GLUCOSE et synanthrose.	INULINE.	PRINCIPES hydrocarbonés indéterminés.	PROPORTION de feuilles dans le mélange.
					Feuilles.				
Octobre 1895.									
Topinambours communs. Fumier	70.55	5.26	2.13	1.12	4.05	1.90	0.14	10.4	»
Topinambours communs. Engrais chimique	71.97	4.60	1.83	1.04	4.24	2.57	0.16	8.9	»
Topinambour patate	68.70	4.77	1.51	1.19	4.11	2.98	0.15	14.2	»
Topinambour jaune	70.69	4.85	1.87	1.23	3.53	3.56	0.32	11.8	»
Analyses de MM. Müntz et Ch. Girard	74.9 à 84.5	6.17 à 7.02	3.08 à 5.29	0.29 à 0.60	1.20 à 4.87	1.03 à 2.51		»	»
					Tiges.				
Topinambours communs. Fumier	64.53	1.08	2.55	0.11	10.6	7.57	2.01	1.8	»
Topinambours communs. Engrais chimique	67.86	0.98	2.03	0.07	9.9	6.51	2.44	4.3	»
Topinambour patate	62.32	1.09	2.37	0.44	13 0	5.90	1.30	5.2	»
Topinambour jaune	65.65	1.20	2.22	0.40	9.8	8.40	1.49	5.2	»
Analyses de MM. Müntz et Ch. Girard	73.61 à 83.76	1.88 à 2.11	1.41 à 1.76	0.12 à 0.13	3.9 à 6.4	3.97 à 9.83		»	»
					Fanes.				
Topinambour commun	67.64	2.14	2.20	0.37	8.5	5.68	1.65	5.1	28.4
Topinambour patate	64.52	2.36	2.08	0.70	9.9	4.89	0.96	8.3	34.6
Topinambour jaune	67.25	2.37	2.10	0.66	7.8	6.86	1.10	6.0	31.8
Analyses de MM. Müntz et Ch. Girard	75.13 à 83.0	2.99 à 3.57	1.60 à 3.81	0.31 à 0.38	2.2 à 4.7	1.54 à 2.90		»	»

Les divers échantillons de tubercules communs ont été empruntés à des plantations faites avec des engrais différents. Ils présentent une grande analogie de composition; cependant, les tubercules obtenus sans l'intervention des engrais azotés sont moins riches en azote; la différence est d'un sixième environ. On observe aussi une diminution dans la proportion de synanthrose.

Le poids de matière sèche est voisin de 20 p. 100, et celui de la cellulose brute est des plus minimes. Les 14 centièmes du tubercule sont constitués par du synanthrose et de l'inuline. La teneur en ma-

tière grasse est faible ; la richesse en matières azotées est, en moyenne, de 1.21 p. 100 et elle n'a pas dépassé 1.46. Les tubercules analysés par MM. Müntz et Ch. Girard avaient fourni des nombres compris entre 2.0 et 2.27 p. 100. La proportion que nous avons trouvée rapproche, à ce point de vue, les tubercules de topinambours des betteraves, carottes, rutabagas et turneps.

Les topinambours patate et jaune se montrent comme étant à peu près les équivalents de la variété cultivée ordinairement. Leur teneur en matières azotées est au moins aussi élevée ; ils contiennent une proportion de matières alcoolisables un peu plus faible.

Les feuilles ont été séparées des tiges et analysées à part.

On voit qu'elles entraient à peu près pour un tiers dans le poids total des fanes. Au moment où nous les avons analysées, elles contenaient notablement moins d'eau que les tubercules et que les fanes traitées par MM. Müntz et Ch. Girard.

Les feuilles et surtout les tiges se distinguent par une proportion plus élevée de cellulose brute ; aussi doivent-ils constituer des fourrages moins digestibles que les tubercules.

Les fanes sont plus riches en azote que les tubercules et, dans les feuilles on trouve une proportion beaucoup plus élevée de matière grasse ; mais la teneur en matières sucrées est moindre ; elle se relève dans les tiges. Dans les fanes, ces matières sucrées se composent d'un mélange de glucose et de synanthrose. On a dosé à part le glucose dans les tiges de topinambour patate et jaune.

On a trouvé :

	GLUCOSE.	SYNANTHROSE.
Topinambour patate	3.33	2.57
— jaune	3.81	4.59

Les fanes présenteront toujours une plus grande variation de composition que les tubercules. Une des plus grandes causes de variation est l'époque à laquelle on les coupe ; leur valeur diminue progressivement avec le développement des tubercules.

Expériences culturales de 1885 à 1897.

Année 1885. — La plantation a été faite le 27 mars et la récolte le 14 novembre. A cette date, les tiges contenaient 41 à 47 p. 100 de matière sèche ; les feuilles, de 65 à 76 p. 100.

Nous rappellerons que le carré O n'a pas reçu d'engrais, que les carrés P et K ont reçu, le premier, du phosphate précipité et le second du chlorure de potassium, que l'on a incorporé au carré M le mélange de ces deux matières. Nous inscrivons, dans le tableau suivant, les rendements et les poids d'acide phosphorique, de potasse et d'azote contenus dans chacune des récoltes.

	CARRÉ O.	CARRÉ P.	CARRÉ K.	CARRÉ M.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Tubercules.	20 240	21 622	35 271	36 606
Tiges.	10 399	7 671	8 630	10 796
Feuilles	4 601	3 229	4 370	5 204
Acide phosphorique .	42,67	44,88	62,91	75,57
Potasse	91,74	97,50	223,33	224,14
Azote.	111,87	87,56	132,17	137,53

Les récoltes ainsi obtenues ne sont pas notablement différentes de celles qui ont été recueillies par MM. Müntz et Ch. Girard sur les champs de l'Institut agronomique où les rendements se sont élevés à 24 000 et 28 200 kilogr. en 1882 et 1883.

Dès cette première année, on voit se dessiner nettement les aptitudes du sol cultivé :

1° Au point de vue de l'azote, il est en état de satisfaire aux exigences d'une récolte à haut rendement, 35 000 à 36 000 kilogr. de tubercules ;

2° Les rendements sont les mêmes dans les carrés O et P. D'où il faut conclure que l'influence de l'engrais phosphaté seul est presque nulle ;

3° L'engrais potassique, employé isolément, fournit immédiatement un supplément de récolte de 15 000 kilogr. de tubercules. Le sol est donc suffisamment riche en acide phosphorique assimilable pour que l'on puisse obtenir, sans l'intervention de cet engrais, des

rendements élevés ; mais il est relativement pauvre en potasse, car il ne peut fournir que ce qui est nécessaire à une récolte de 21 000 kilogr.

Si l'on compare les poids des divers principes assimilés par les récoltes on constate que, dans les deux premiers carrés, les quantités d'acide phosphorique sont à peu près égales. Il n'en est plus de même pour les carrés K et M, où on les voit varier de 62^{kg},9 à 75^{kg},57. L'influence de l'engrais phosphaté est à peine sensible sur les rendements ; elle se traduit seulement par une augmentation de richesse de la plante en acide phosphorique.

Les faits observés pour la potasse sont différents parce que l'on se trouve en présence d'un sol pauvre en potasse assimilable et que les rendements se règlent d'après la quantité de potasse absorbée.

D'après les nombres inscrits dans le tableau précédent, on peut déduire que 1 000 kilogr. de tubercules avec leurs fanes contenaient :

	CARRÉ O.	CARRÉ P.	CARRÉ K.	CARRÉ M.	CULTURE de MM. Müntz et Ch. Girard.
	—	—	—	—	—
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Acide phosphorique. .	2,10	2,07	1,77	2,06	1,43
Potasse	4,53	4,51	6,31	6,12	8,61
Azote	5,52	4,50	3,73	3,75	4,41

La proportion de potasse dans cette plante peut être supérieure à celle que nous avons trouvée dans nos récoltes ; ce fait se produit, sans que les rendements atteignent des nombres plus élevés, dans des terres plus riches en potasse ; mais ce qui est important, *c'est qu'à partir de ce point, où la plante ne peut plus assimiler que 4^{kg},5 de potasse par 1 000 kilogr. de tubercules récoltés, on constate une diminution considérable dans les rendements, et le développement du végétal se trouve entravé.*

Au point de vue de l'acide phosphorique, la proportion 1^{kg},77 par 1 000 kilogr. de tubercules correspond encore à des rendements élevés, supérieurs à ceux que l'on a constatés avec une teneur de 1^{kg},43. Sans être aussi affirmatif que pour la potasse, on peut déjà se demander si ce nombre, 1^{kg},43, n'est pas voisin de la limite, à

partir de laquelle il y aurait une influence directe de l'assimilation de l'acide phosphorique sur les rendements.

Année 1886. — Même poids et même nature d'engrais qu'en 1885 : plantation du 8 au 10 avril ; récolte des tubercules le 1er décembre.

Dès le mois de juillet, on constatait des différences très nettes dans la végétation sur les divers carrés.

	CARRÉ O.	CARRÉ P.	CARRÉ K.	CARRÉ M.
Hauteur des tiges	1m,40	1m,70	2m	1m,90
Proportion de feuilles noires sur les tiges, p. 100	65	53	2	6

Le tableau suivant contient l'indication des rendements :

	CARRÉ O.	CARRÉ P.	CARRÉ K.	CARRÉ M.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Tubercules.	19 987	18 730	27 620	33 385
Fanes.	»	7 100	7 250	9 950
Récolte totale :				
Acide phosphorique .	40,9	42,14	41,70	66,77
Potasse	89,9	86,91	164,61	192,63
Azote.	124,6	115,87	105,50	150,20
Pour 1 000 kilogr. de tubercules avec leurs fanes :				
Acide phosphorique .	2,05	2,24	1,51	2,0
Potasse	4,49	4,64	5,95	5,77
Azote.	6,23	6,16	3,82	4,49

Dans tous les carrés, les rendements sont inférieurs à ceux de l'année 1885 ; mais la diminution est surtout sensible dans les carrés K et M, plus forte dans le premier que dans le second. Dans le carré K, la diminution peut être due à l'appauvrissement du sol en azote et en acide phosphorique ; en M, les pertes d'azote peuvent seules être invoquées. Nous laissons de côté les conditions climatériques, qui n'ont rien présenté d'anormal.

Dans les carrés O, P et K, la récolte a assimilé le même poids d'acide phosphorique avec des différences de rendement de 8 000 à à 9 000 kilogr.

Malgré un excès d'engrais potassique, l'absorption de cet élément a été limitée à 41^{kg},70. Aussi, tandis que dans les carrés O et P on compte 2^{kg},05 à 2^{kg},24 d'acide phosphorique par 1 000 kilogr. de tubercules, comme en 1885, on n'obtient que 1^{kg},51, nombre très voisin de celui qui caractérise la récolte de MM. Müntz et Ch. Girard. La proportion remonte à 2 kilogr., en présence de l'engrais phosphaté, dans le carré M, avec des rendements supérieurs.

Nous trouvons ici une confirmation de nos prévisions de l'année précédente. Ces poids, 1^{kg},4 à 1^{kg},5, représentent le minimum de ce qui est nécessaire à une récolte de 1 000 kilogr. ou doivent en être très voisins. A cette limite, les rendements se trouvent dans la dépendance immédiate des quantités d'acide phosphorique assimilées. C'est un point, à partir duquel toute diminution dans le poids d'acide phosphorique assimilé se traduit par un amoindrissement de la récolte, au moins dans les années ordinaires.

Dans les carrés O et P, qui se caractérisent par une insuffisance de potasse, nous retrouvons les mêmes poids qu'en 1885, soit 4^{kg},49 et 4^{kg},65 par 1 000 kilogr. de tubercules avec leurs fanes.

Année 1887. — Elle a été particulièrement sèche pendant l'été. Les engrais ont été les mêmes qu'en 1886. La plantation a été faite le 8 mars. Les rendements ont été les suivants :

	CARRÉ O.	CARRÉ P.	CARRÉ K.	CARRÉ M.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Tubercules	10 206	8 978	24 700	24 008
Tiges	2 623	2 416	6 748	7 153
Feuilles	1 327	1 133	1 952	2 397
Fanes	3 950	3 549	8 700	9 550
Récolte totale :				
Acide phosphorique	16,7	15,8	29,2	42,0
Potasse	44,9	41,4	121,8	122,0
Azote	53,3	50,3	90,0	96,9
Par 1 000 kilogr. de tubercules avec leurs fanes :				
Acide phosphorique	1,63	1,76	1,18	1,75
Potasse	4,40	4,61	4,90	5,08
Azote	5,22	5,59	3,65	4,03
Hauteur des tiges	1^{m},90	1^{m},95	2^{m},15	2^{m},60

Année 1888. — Chaque carré a été traité de la même manière que l'année précédente. Les rendements et les résultats de l'analyse sont consignés dans le tableau suivant :

	CARRÉ O.	CARRÉ P.	CARRÉ K.	CARRÉ M.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Tubercules	8 180	6 600	23 680	22 890
Tiges	2 191	2 709	6 101	7 640
Feuilles	1 209	1 096	2 799	4 160
Fanes	3 400	3 805	8 910	11 800
Récolte totale :				
Acide phosphorique. .	19,90	19,30	36,90	47,70
Potasse.	38,90	31,80	155,10	155,40
Azote	65,30	58,30	97,10	131,40
Par 1 000 kilogr. de tubercules avec leurs fanes :				
Acide phosphorique. .	2,43	2,92	1,55	2,08
Potasse.	4,75	4,82	6,54	6,76
Azote	7,98	8,80	4,10	5,74
Hauteur des tiges . .	2^{m},30	2^{m},50	3^{m},30	3^{m},15

Nous avons rapproché les deux années 1887 et 1888, afin de rendre plus facile la comparaison des nombres inscrits.

Pour ces deux années, de même que pour les années précédentes, les tubercules, les feuilles et les tiges ont été analysés séparément. Les résultats insérés dans les tableaux sont ceux qui ont été fournis par la récolte de l'année.

De 1886 à 1887, il s'est produit une diminution brusque dans les rendements et il n'y a pas eu de relèvement en 1888.

La sécheresse de l'année 1887 a exercé une mauvaise influence, mais on ne saurait invoquer cette cause pour expliquer l'infériorité des rendements en 1888.

La comparaison des quantités de matières minérales absorbées par les récoltes, fournit quelques enseignements.

En 1887, les poids d'acide phosphorique assimilés sont notablement moindres qu'en 1886 et 1888; même, par 1 000 kilogr. de tubercules, la teneur en acide phosphorique est inférieure à celle qui a été constatée sur les mêmes carrés, dans les autres années. Le minimum absolu, 1^{kg},18, s'est produit sur le carré K, sous l'influence d'un excédent de récolte dû à l'engrais potassique.

Comme on l'a déjà constaté, les années précédentes, sur les carrés O et P, les rendements, de même que les poids d'acide phosphorique assimilés, sont peu différents les uns des autres, en 1887 comme en 1888.

Sur les carrés K et M, à des rendements égaux correspondent des quantités d'acide phosphorique inégales.

En 1887, l'excès constaté en M porte principalement sur les tubercules.

		CARRÉ K.	CARRÉ M.
		kilogr.	kilogr.
Acide phosphorique.	Tubercules . . .	19,283	31,355
	Fanes	9,923	10,631

En 1888, le supplément se retrouve dans les fanes; ce fait correspond à un développement plus complet des tiges et des feuilles sous l'influence de conditions climatériques normales.

		CARRÉ K.	CARRÉ M.
		kilogr.	kilogr.
Acide phosphorique.	Tubercules . . .	29,825	31,137
	Fanes	7,889	16,613

Les excédents d'acide phosphorique existant dans les récoltes du carré M, s'expliquent par les apports d'engrais phosphatés qui ont été refusés au carré K.

Si l'on compare les carrés P et M, qui ont reçu chaque année les mêmes quantités de phosphate, on voit que la présence d'un excès de potasse dans le sol a pour effet d'accroître l'absorption de l'acide phosphorique. Dans ces quatre années, quelles que soient les influences atmosphériques, la différence en faveur de K a varié de $24^{kg},6$ à $30^{kg},69$. Si l'on compare les carrés O et K, qui se trouvaient réduits aux ressources naturelles qu'ils possédaient en phosphates, on observe encore des augmentations en faveur de K dans les années 1885, 1887 et 1888; elles restent comprises entre $12^{kg},5$ et $20^{kg},2$.

En 1886, la différence est presque nulle et ne dépasse pas $0^{kg},8$. Cependant, on a constaté un excédent de récolte de 7 600 kilogr. de

tubercules, quantité qui n'est pas négligeable. L'effet d'un engrais incomplet peut donc se faire sentir par un supplément de récolte, sans qu'il en résulte nécessairement un accroissement correspondant dans l'assimilation d'un autre élément minéral. Mais ce fait ne se reproduira qu'à la condition que la plante ne descendra pas, dans sa composition, au minimum, à partir duquel son développement se trouverait entravé. C'est ainsi qu'en 1886, le poids d'acide phosphorique contenu dans les 1 000 kilogr. de tubercules était encore égal à $1^{kg},55$, nombre supérieur aux minima constatés, $1^{kg},43$ et surtout $1^{kg},18$ dans l'année sèche.

En ce qui concerne la potasse, il y a, pour une même année, identité presque complète entre les les carrés O et P, pour les récoltes totales de même que pour les 1 000 kilogr. de tubercules; ce fait s'observe pour les quatre années d'expériences, de 1885 à 1888. Mais, tandis que d'une année à l'autre le poids total de la potasse assimilée varie de 97 kilogr. à 32 kilogr., le poids par 1 000 kilogr. de tubercules reste à peu près constant, ne variant que de $4^{kg},49$ à $4^{kg},82$. Cette constance de composition, au point de vue de la potasse, ne peut être le résultat du hasard; elle prouve que sur ces carrés, les rendements sont proportionnels aux quantités de potasse assimilées. Le titre $4^{kg},50$ pour 1 000 est donc bien un minimum à partir duquel les rendements s'abaissent, en même temps que le poids total de la potasse absorbée par le végétal.

Dans les carrés K et M, les quantités de potasse contenues dans la totalité de la récolte sont, suivant les années, deux fois, trois fois et même cinq fois aussi fortes que sur les carrés O et P. Les récoltes augmentent, mais moins rapidement que les poids de potasse, puisque les titres des récoltes s'élèvent jusqu'à $6^{kg},76$ par 1 000 kilogr. de tubercules. En aucun cas, ils ne descendent à $4^{kg},5$; ils ne s'en rapprochent que dans l'année 1887, où l'on a vu la sécheresse rendre l'assimilation de la potasse moins active.

En 1888, sur les carrés K et M, les rendements sont restés inférieurs à ceux que l'on avait constatés en 1887 et dans les années précédentes, malgré une absorption de potasse relativement plus grande. On doit rechercher la cause de ce fait dans l'appauvrissement progressif du sol en azote.

Pendant ces quatre années de culture, les quantités d'azote emportées par les récoltes ont été respectivement :

CARRÉ O.	CARRÉ P.	CARRÉ K.	CARRÉ M.
kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
300,2	311,5	424,8	516,0

Le moment était donc venu d'essayer l'effet des engrais azotés.

Mais, avant d'indiquer les expériences suivantes, il ne sera pas inutile d'établir la situation de chacun des carrés au point de vue des pertes et des gains en acide phosphorique et en potasse.

	CARRÉ O.	CARRÉ P.	CARRÉ K.	CARRÉ M.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Acide phosphorique .	perte 120	gain 307	perte 170,7	gain 168
Potasse	perte 265	perte 231	gain 46	gain 26,8

Entre les carrés O et P, il existe pour l'acide phosphorique une différence de 427 kilogr. ; il n'en est pas résulté d'accroissement dans les rendements. De même, entre K et M, les différences de récolte sont des plus minimes.

L'action de l'engrais potassique a été considérable.

	DIFFÉRENCE.	SUPPLÉMENT de récolte.
Entre O et K	311	15 500
Entre M et P	257,8	16 290

Soit 50 à 63 kilogr. de tubercules par kilogramme de potasse employé comme engrais.

Année 1889. — La levée s'est mal faite et la récolte a dû être détruite.

Année 1890. — Après avoir constaté une diminution croissante dans les rendements, il devenait nécessaire d'étudier l'action des engrais azotés sur les divers carrés antérieurement soumis aux essais que nous venons de décrire.

Chaque carré a été partagé en deux parties égales: l'une des moitiés a reçu les mêmes engrais que les années précédentes; à l'autre moitié, on a incorporé du nitrate de soude. On a planté le même nombre de tubercules sur ces diverses surfaces.

Voici les engrais employés:

Carré O	moitié O_1. .	Pas d'engrais.
	— O_2. .	Nitrate de soude, $1^{kg},5$, soit 300 kilogr. à l'hectare.
Carré P	— P_1. .	Superphosphate, 3 kilogr.
	— P_2. .	— 3 kilogr.; nitrate de soude, $1^{kg},5$
Carré K	— K_1. .	Chlorure de potassium, 2 kilogr.
	— K_2. .	— 2 kilogr.; nitrate de soude, $1^{kg},5$.
Carré M	— M_1. .	Superphosphate, 3 kilogr.; chlorure de potassium, 2 kilogr.
	— M_2. .	Mêmes engrais et nitrate de soude, $1^{kg},5$.

Dans les parties du champ où l'on n'a pas répandu de superphosphate, on a ajouté 1 kilogr. de plâtre afin de placer, autant que possible, toutes les parcelles dans les mêmes conditions.

La récolte n'a été faite qu'au mois de février suivant, parce que les gelées ont fait leur apparition dès le mois de décembre. Les fanes étaient en partie tombées sur le sol et on a jugé inutile d'en prendre le poids. Les tubercules ont été pesés après lavage.

	CARRÉ O		CARRÉ P		CARRÉ K		CARRÉ M	
	O_1.	O_2.	P_1.	P_2.	K_1.	K_2.	M_1.	M_2.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Tubercules .	12 947	10 799	11 886	6 576	21 168	22 510	19 000	25 736

Sans engrais potassique, l'influence du nitrate de soude est nulle ou même nuisible. L'emploi du chlorure de potassium a suffi pour doubler la récolte; mais en K_2, l'engrais azoté ne fait naître qu'un supplément de 1 342 kilogr. On doit en conclure qu'une insuffisance d'acide phosphorique assimilable annihile l'influence du nitrate de soude. En M_2, on constate un supplément de récolte de 6 738 kilogr.

Les observations faites en juillet et en août, sur l'état de la végétation, faisaient prévoir ces résultats. En O et en P, des taches noires apparaissaient, dès le mois de juillet, sur les feuilles qui garnissaient le bois des fanes. En août, les feuilles étaient altérées sur le tiers in-

férieur des tiges. Dans le carré M, tous les pieds étaient beaux avec des feuilles intactes; la présence de l'azote était rendue manifeste par une végétation plus active et par un plus grand nombre de tiges composant chaque pied.

Année 1891. — On a continué à étudier l'effet des engrais azotés et de quantités croissantes d'engrais phosphaté et potassique.

Chacun des quatre carrés a été partagé en deux parties égales dans un sens perpendiculaire à celui qui avait été adopté en 1890, afin de supprimer, autant que possible, l'influence des engrais antérieurement employés.

Carré O	O_1 . . .	Sans engrais.
	O_2 . . .	Superphosphate, 3 kilogr.; chlorure de potassium, 4 kilogr.: nitrate de soude, 3 kilogr.
Carré P	P_1 . . .	Superphosphate, 3 kilogr.; chlorure de potassium, 2 kilogr.
	P_2 . . .	— 3 kilogr.; — 4 kilogr.
Carré K	K_1 . . .	— 3 kilogr.; — 2 kilogr.
	K_2 . . .	— 6 kilogr.; — 2 kilogr.
Carré M	M_1 . . .	— 3 kilogr.; — 4 kilogr.
	M_2 . . .	Superphosphate, 3 kilogr.; chlorure de potassium, 4 kilogr.; nitrate de soude, $1^{kg},5$.

La récolte a été faite le 15 décembre.

	CARRÉ O		CARRÉ P		CARRÉ K		CARRÉ M	
	O_1.	O_2.	P_1.	P_2.	K_1.	K_2.	M_1.	M_2.
Tubercules . . . . . kilogr.	10 930	45 323	23 330	24 799	23 400	20 462	21 810	37 610
Fanes . . . . . —	3 500	10 770	8 258	8 232	6 100	5 429	6 930	8 889
Hauteur des tiges . . . . . m.	2,35	2,80	2,80	2,70	2,64	2,40	2,35	3,20
Azote de la récolte . . . . kilogr.	49,2	203,9	105,2	112,7	105,3	92,1	98,1	169,4

Dans toutes les parcelles qui n'ont pas reçu d'engrais azoté, quelles que soient les quantités de superphosphate et de chlorure de potassium employées, les rendements varient peu et restent compris entre 20 460 kilogr. et 24 799 kilogr. Sous l'influence des engrais minéraux, on obtient au plus 13 869 kilogr. de supplément. La récolte est nettement limitée par le manque d'azote assimilable. Une

addition de 45 kilogr. d'azote à l'hectare donne un excédent de 12 841 kilogr. de tubercules; avec 90 kilogr. d'azote à l'état de nitrate, il devient égal à 20 524 kilogr. Les suppléments d'azote contenus dans les récoltes sont respectivement $56^{kg},7$ et $91^{kg},2$, poids supérieur à celui qui a été ajouté au sol sous forme d'engrais.

Les engrais azotés sont donc très efficaces dans la culture des topinambours, et leur emploi doit compléter celui des engrais minéraux.

Les rendements ont augmenté avec la quantité d'azote; seulement, il restait à déterminer dans quelle proportion les engrais azotés pouvaient être utilisés avec profit.

Année 1892. — Le carré O a été cultivé, moitié sans engrais, moitié avec un mélange de superphosphate, 3 kilogr., et de chlorure de potassium, 2 kilogr.

Aux carrés P, K, M, on a incorporé ce même mélange avec des quantités croissantes de nitrate de soude, 2 kilogr., 3 kilogr., 4 kilogr.

Voici les résultats obtenus :

	CARRÉ O		CARRÉ P.	CARRÉ K.	CARRÉ M.
	O_1.	O_2.			
Tubercules . . . . . kilogr.	6 500	27 000	31 900	32 500	37 800
Fanes . . . . . —	1 400	6 200	7 000	7 600	8 450
Hauteur des tiges . . . . . m.	0,55 à 1,95	1,05 à 2,95	1,80 à 3,10	2,25 à 3,20	2,45 à 3,30
Azote de la récolte . . kilogr.	40,6	121,5	143,5	146,2	170,1
Azote de l'engrais . . . —	0,0	0,0	30,0	45,0	60,0
Excédent dans la récolte —	40,6	121,5	113,5	101,2	110,1

Pour 30 kilogr. d'azote engrais, le supplément de récolte a été de 4 900 kilogr., soit 163 kilogr. pour 1 kilogr. d'azote; pour 60 kilogr. d'azote engrais, le supplément a été de 10 800 kilogr., soit 180 kilogr. de tubercules pour 1 kilogr. d'azote.

L'année précédente, l'excédent de récolte a varié de 261 à 346 kilogr. de tubercules par kilogramme d'azote.

Année 1893. — On a comparé diverses variétés d'engrais azotés: nitrate de soude, sulfate d'ammoniaque et sang desséché, kaïnite et chlorure de potassium. Les quantités appliquées aux récoltes contenaient les mêmes poids d'azote.

	CARRÉ O		CARRÉ P		CARRÉ K		CARRÉ M	
	O_1.	O_2.	P_1.	P_2.	K_1.	K_2.	M_1.	M_2.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Superphosphate	3	3	3	3	3	3	3	3
Chlorure de potassium .	2	»	2	»	2	»	2	»
Kaïnite	»	8	»	8	»	8	»	8
Nitrate de soude	»	»	2	2	»	»	»	»
Sulfate d'ammoniaque .	»	»	»	»	1,5	1,5	»	»
Sang	»	»	»	»	»	»	3	3
Tubercules	21 400	21 400	35 200	40 800	31 600	31 400	31 200	35 600
Fanes	2 800	3 600	3 800	5 100	4 320	3 610	4 200	5 100
Azote de la récolte . . .	108	120	158	184	156	141	154	160

Ces divers engrais azotés, additionnés de chlorure de potassium, ont produit à peu près la même augmentation de rendement, de 9 800 à 10 800 kilogr. de tubercules. Elle correspond à 60 kilogr. d'azote, ce qui correspond à 167 kilogr. de tubercules par kilogramme d'azote.

Dans les parcelles où l'on a fait usage de la kaïnite, on n'observe pas la même régularité dans les rendements. Le maximum a été obtenu avec le nitrate de soude et le minimum avec le sulfate d'ammoniaque ; avec le sang desséché, la récolte s'est trouvée intermédiaire entre les deux autres.

Nous signalons ces différences sans pouvoir présenter d'explication certaine et sans en tirer de conséquences.

Année 1894. — La culture avait été continuée pendant les huit dernières années, sans qu'on ait fait intervenir le fumier. Après cet intervalle de temps, il devenait intéressant de constater quel pourrait être l'effet de l'engrais de ferme. Nous l'avons employé concurremment avec les engrais chimiques, soit seul, soit en mélange avec ces derniers.

	CARRÉ O		CARRÉ P.	CARRÉ K		CARRÉ M	
	O_1.	O_2.		K_1.	K_2.	M_1.	M_2.
Engrais employés.							
Superphosphate. . . . . kilogr.	3	3	»	1	1	2	2
Kaïnite. . . . . —	4	8	»	»	2	1	8
Chlorure de potassium. . —	»	»	»	0,5	»	»	»
Nitrate de soude. . . . . —	»	»	»	0,5	0,5	2	2
Fumier . . . . . —	»	»	200	50	50	»	»
Rendements.							
Tubercules . . . . . —	23 300	23 000	27 578	31 600	31 040	33 440	31 510
Fanes . . . . . —	4 800	5 600	5 700	6 000	6 000	7 400	6 600
Hauteur des tiges . . . . . m.	1,15 à 2,75	1,10 à 2,65	1,40 à 3,60	1,05 à 3,15	1,50 à 3,55	1,50 à 3,55	1,60 à 3,40

Les engrais azotés continuent à exercer une influence importante, puisque l'emploi de 400 kilogr. de nitrate de soude procure un supplément de 11 000 kilogr. de tubercules. Le fumier seul, à la dose de 20 000 kilogr. à l'hectare, est notablement moins actif que les engrais chimiques.

Ce fait est à noter pour la culture des topinambours, et on peut recommander comme fumure un mélange de 400 kilogr. de superphosphate, 200 à 400 kilogr. de chlorure de potassium, 200 à 400 kilogr. de nitrate de soude, ou 10 000 kilogr. de fumier, additionnés d'un mélange de 200 kilogr. de superphosphate, 100 kilogr. de chlorure de potassium et de nitrate de soude. Nous conservons le chlorure de potassium tant que l'expérience n'aura pas nettement montré un avantage dans l'emploi de la kaïnite.

Nous avons pu constater que les récoltes se différencient davantage par le poids des tubercules que par leur nombre ; voici le résultat d'une observation.

	CARRÉS					
	O.	P.	K_1.	K_2.	M_1.	M_2.
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Poids des tubercules moyens.	33	40	55	48,5	48	49
Poids des gros tubercules. .	69	88	101	102	101	97

Les rendements varient dans le même sens que les poids des tubercules.

Année 1895. — Les résultats obtenus en 1894, au point de vue du fumier, demandaient confirmation. On a continué la culture sur les carrés précédents avec et sans fumier.

	CARRÉ O.	CARRÉ P		CARRÉ K		CARRÉ M	
		P_1.	P_2.	K_1.	K_2.	M_1.	M_2.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Engrais.							
Superphosphate	8	»	1	2	2	3	2
Kaïnite	16	»	»	»	»	»	»
Chlorure de potassium	»	»	1	2	2	4	1
Nitrate de soude	8	»	1	2	2	2	4
Fumier	»	400	200	200	2	»	»
Récolte.							
Tubercules	31 500	21 000	37 000	36 800	32 200	30 000	38 000
Fanes	8 400	9 000	10 400	9 400	9 000	8 800	10 000

Ces essais confirment les résultats de l'année précédente, au point de vue de l'action du fumier, même employé à haute dose. Un mélange d'engrais chimique et de fumier est plus efficace que le fumier seul.

Les rendements se sont maintenus au même taux qu'en 1894.

De plus, on reconnaîtra que dans le cas où l'on augmente la dose d'engrais au delà d'une certaine limite, la récolte cesse de s'accroître. Dans une culture continue, sur des terres analogues à celles du champ d'expériences de la station, il n'y a pas à espérer des rendements moyens, bien supérieurs à 30 000 kilogr. de tubercules.

Dans ce cas, les doses d'engrais précédemment indiquées suffisent, soit qu'on les emploie seules, soit qu'on en remplace la moitié par 10 000 à 20 000 kilogr. de fumier à l'hectare.

Une récolte de 30 000 kilogr. de tubercules avec leurs fanes emporte, dans un sol semblable à celui que nous avons cultivé, 60 kilogr. d'acide phosphorique et 173 kilogr. de potasse, ce qui correspond à 400 kilogr. de superphosphate dosant 15 p. 100 d'acide soluble et à 350 kilogr. de chlorure de potassium.

Au point de vue de l'azote, nous devons reconnaître que si les engrais azotés sont nécessaires et d'un emploi avantageux, le poids

de l'azote de la récolte est toujours supérieur au poids de l'azote contenu dans l'engrais. Dans la pratique, il y a lieu de rechercher la dose nécessaire pour obtenir le maximum d'effet utile.

De 1885 à 1888 inclusivement, les pertes du sol en azote avaient été :

CARRÉ O.	CARRÉ P.	CARRÉ K.	CARRÉ M.
kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
300,2	311,5	424,8	516

Pendant les cinq années suivantes, alors que l'on a fait usage des engrais azotés, le bilan du sol, au point de vue de l'azote, a été établi pour chacun des carrés.

Les résultats sont calculés pour l'étendue d'un hectare.

Selon les conditions de culture, les quantités d'azote contenues dans 1 000 kilogr. de tubercules munis de leurs fanes peuvent varier de $6^{kg},2$ à $3^{kg},82$.

Pour la teneur minima $3^{kg},82$, on obtient les nombres suivants, de 1890 à 1895 :

	CARRÉ		CARRÉ		CARRÉ		CARRÉ	
	O_1.	O_2.	P_1.	P_2.	K_1.	K_2.	M_1.	M_2.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Azote des six récoltes. . .	418,7	618,8	576,4	641,0	558,9	631,2	689,5	799,5
Azote de l'engrais	120,0	255,0	335,0	325,0	160,0	265,0	240,0	390,0
Excédents	298,7	363,8	231,4	319,0	3 8,9	396,2	449,5	409,5

Pour la proportion maxima $6^{kg},2$ d'azote par 1 000 kilogr. de tubercules, les excédents correspondants seraient : $559^{kg},4$, $749^{kg},4$, $600^{kg},6$, $720^{kg},8$, $834^{kg},1$, $809^{kg},2$, $852^{kg},4$, 807 kilogr.

Les excédents ont toujours été supérieurs au poids de l'azote de l'engrais et ils ont pu atteindre le double de cette quantité.

Dans la pratique, 60 kilogr. d'azote sous forme d'engrais doivent suffire. Une récolte de 30 000 kilogr. contient de 115 à 186 kilogr. d'azote.

Il n'est pas inutile de compléter ces résultats par la composition de la terre du champ d'expériences, quoique ses aptitudes soient

déjà caractérisées par la série des essais que nous venons de décrire. Le sol contenait, par 1 000 kilogr. :

Azote	$1^{kg},9$
Acide phosphorique	1 ,0
Potasse	3 ,4
Chaux	2 ,2
Magnésie	3 ,0
Humus	27 ,0

L'humus a été déterminé par le procédé Raulin. L'acidité du sol, quoique très faible, n'était pas nulle. Mesurée par le procédé de Mondésir et évaluée en carbonate de chaux, elle était encore égale, en 1894, à $1^{kg},3$ pour 1 000.

Topinambour patate. — Topinambour jaune.

Nous avons essayé, dans les trois années 1895, 1896 et 1897, ces deux variétés qui nous ont été fournies par M. de Vilmorin. Le topinambour patate a été obtenu de semis et présenté par M. de Vilmorin, en 1895, à la Société nationale d'agriculture de France. Les tubercules, allongés, relativement volumineux, sont mieux conformés que ceux de la race rose commune ; ils ne présentent pas à leur surface des protubérances et des creux aussi accentués qui rendent le nettoyage difficile.

Ces variétés ont été plantées en 1895, sur des carrés où il n'avait pas encore été fait de culture de topinambours.

Pour un are, on a employé comme engrais :

Superphosphate	2 kilogr.
Nitrate de soude	2 —
Kaïnite	4 —
Fumier	100 —

Les récoltes, rapportées à la surface d'un hectare, ont été :

	CARRÉ A.		CARRÉ B.	
	Topinambours		Topinambours	
	patate.	jaune.	patate.	jaune.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Tubercules	40 000	48 800	34 540	52 633
Fanes	10 140	12 100	8 052	10 869

Les récoltes ont été supérieures à celles que l'on obtenait la même année avec le topinambour commun, mais les conditions de culture n'étaient pas identiques, puisque cette dernière variété occupait déjà le même terrain depuis dix ans. Tout ce que l'on pouvait déduire de ces premiers essais, c'est que ces deux variétés paraissaient se signaler comme très productives. Le topinambour jaune, tant au point de vue des fanes que des tubercules, montrait une supériorité marquée sur le topinambour patate.

En 1896, on a cultivé simultanément sur les mêmes carrés O, P, K et M et aussi A, les trois variétés; chacune d'elles occupait une surface d'un demi-are. On a comparé en même temps l'effet des engrais chimiques purs et de leur mélange avec le fumier.

ENGRAIS.	CARRÉ P. Topinambours ordinaire et patate.	CARRÉ K. Topinambours ordinaire et jaune.	CARRÉ M. Topinambours ordinaire et patate.	CARRÉ O. Topinambours patate et jaune.	CARRÉ A. Topinambours jaune et patate.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Fumier	200	200	»	»	
Superphosphate	1	1	2	2	Sans
Chlorure de potassium	2	2	4	4	
Nitrate de soude	2	2	4	4	engrais.
Plâtre	2	2	2	2	

La récolte a été effectuée au mois de février 1897. Les rendements ont été rapportés à un hectare.

TOPINAMBOURS.	CARRÉ P.	CARRÉ K.	CARRÉ M.	CARRÉ O.	CARRÉ A.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Patate	33 200	»	30 600	28 600	23 200
Ordinaire	31 000	30 800	27 400	»	»
Jaune	»	38 000	»	32 800	34 000

Les deux variétés, patate et jaune, ont toutes les deux fourni 2 000 à 7 000 kilogr. de plus que le topinambour commun.

La supériorité constatée en 1895, pour la variété jaune, s'est maintenue en 1896.

Nous avons voulu obtenir une nouvelle vérification de ces résultats avant de les publier.

En 1897, le 31 mars, on procédait à la plantation des deux variétés patate et jaune sur les cinq carrés précédents, en consacrant à chacune d'elles la moitié de leur surface.

On éliminait ainsi l'influence des fumures antérieures. De plus, on a fait varier la nature des engrais d'un carré à l'autre.

	CARRÉ P.	CARRÉ K.	CARRÉ M.	CARRÉ O.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Kaïnite.	16	8	»	16
Nitrate de soude. . . .	2	2	»	2
Superphosphate	»	2	»	2

L'arrachage et la pesée des tubercules ont été effectués du 1er au 8 décembre dernier.

TOPINAMBOURS.	CARRÉ P		CARRÉ K		CARRÉ M		CARRÉ O	
	fanes.	tubercules.	fanes.	tubercules.	fanes.	tubercules.	fanes.	tubercules.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Patate.	9 900	26 600	7 900	25 400	10 400	23 600	8 600	24 000
Jaune.	12 800	36 000	12 000	36 400	9 400	26 800	9 000	28 200
Excès en faveur de la variété jaune.	2 900	9 400	4 100	11 000	»	3 200	400	4 200

Le supplément de récolte, en faveur du topinambour jaune a varié de 3 200 kilogr. à 11 000 kilogr. de tubercules à l'hectare.

M. de Vilmorin, en 1895, entretenait la Société nationale d'agriculture de France d'expériences faites à Verrières, l'année précédente, sur diverses variétés de topinambours.

La race jaune s'était montrée plus productive que la variété rose commune. D'autre part, le topinambour patate s'était montré sensiblement équivalent au rose commun. Les résultats que nous présentons sont une extension et une vérification, sous un autre climat et dans des terrains différents, des observations de M. de Vilmorin.

Enfin, il était intéressant de comparer les tubercules des diverses

variétés au point de vue de la grosseur. Voici les poids constatés pour chacune d'elles pour les trois années :

Année 1895.

	POIDS MOYEN DES TUBERCULES		
	petits.	moyens.	gros.
	gr.	gr.	gr.
Topinambour rose commun . . .	24	50	74 à 100
— jaune.	30	60	130
— patate	25	60	142

Année 1896.

	POIDS MOYEN DES TUBERCULES.			
	Carré P.	Carré K.	Carré M.	Carré O.
	gr.	gr.	gr.	gr.
Topinambour commun . .	49	62	57	»
— jaune . . .	»	71	»	67
— patate . . .	62	»	84	76

Récolte 1897.

Topinambour jaune . . .	83	77	77	62
— patate . . .	67	71	91	91

Les deux variétés jaune et patate présentent une supériorité marquée sur la race commune, au point de vue du volume des tubercules.

Sauf dans ces deux cas, où la variété jaune a fourni des rendements très notablement plus élevés, le topinambour patate se distingue par un plus gros volume de ses tubercules.

Résumé.

1° Le topinambour est un excellent fourrage par ses tubercules et même par ses fanes. La valeur des fanes au point de vue alimentaire diminue d'autant plus qu'on se rapproche davantage de l'époque de la récolte des tubercules.

2° Les tubercules des variétés jaune et patate et ceux du topinambour rose commun présentent peu de différences au point de

vue de leur teneur en matières minérales ; cependant, les fanes considérées à la même époque de l'année ne sont pas identiques.

PAR 1 000 kilogr. de fanes.	TOPINAMBOURS commun.	jaune.	patate.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Acide phosphorique . . .	0,41	0,66	0,62
Potasse	5,74	6,22	6,43

3° Au point de vue alimentaire, les tubercules jaune et patate sont un peu moins riches en synanthrose et inuline, avec des proportions égales de matières azotées.

PAR 100 kilogr.	TOPINAMBOURS commun.	jaune.	patate.
Matières azotées	1.22	1.29	1.31
Synanthrose et inuline . . .	14.52	13.90	13.10

Les variétés jaune et patate sont plus productives que la race commune. Le supplément peut être de 2 000 à 3 000 kilogr. à l'hectare pour le topinambour patate et de 4 000 à 7 000 kilogr. pour la race jaune.

Cette supériorité de rendement est suffisante pour compenser et au delà la diminution de richesse en substances alcoolisables.

4° Le topinambour, à l'aide des seuls engrais chimiques, peut subsister sur un même champ, sans interruption, pendant une série d'années. Dans un terrain de composition moyenne, on peut ainsi obtenir 30 000 à 36 000 kilogr. de tubercules à l'hectare.

Le fumier employé seul, même à dose élevée, ne fournit pas de rendements supérieurs à ceux qu'on obtient par les engrais chimiques seuls ou par leur mélange avec l'engrais de ferme.

Les engrais potassiques solubles, tels que le chlorure de potassium, dans les terres qui ne sont pas riches en potasse assimilable, sont d'un emploi avantageux.

5° Par 1 000 kilogr. de tubercules accompagnés de leurs fanes, considérées dans l'état même où elles se trouvent au moment de l'arrachage des tubercules, les quantités de potasse restent constantes

et égales à $4^{kg},50$ en moyenne, quel que soit le rendement, dans le cas où la terre, relativement pauvre en potasse assimilable, ne reçoit pas d'engrais potassique.

Quand on a recours à ce dernier engrais, les rendements s'élèvent et la teneur en potasse monte à $6^{kg},0$.

Quant à l'acide phosphorique, dans une terre relativement riche en phosphates assimilables, par 1 000 kilogr. de tubercules accompagnés de leurs fanes, sa proportion est en moyenne égale à $2^{kg},05$, soit en l'absence de tout engrais, soit en présence d'un mélange de superphosphate et de chlorure de potassium. Ajoute-t-on au sol un engrais phosphaté non additionné d'engrais potassique, cette quantité s'élève à $2^{kg},25$. Elle s'abaisse à $1^{kg},61$ si l'on donne au sol du chlorure de potassium sans y ajouter de phosphates. Dans ce cas, la teneur de la plante en acide phosphorique diminue, en même temps qu'elle augmente en potasse.

Enfin, si l'on cherche le rapport qui existe entre les poids de potasse et d'acide phosphorique contenus dans une même récolte, on trouve qu'il ne varie pas d'une année à l'autre dans les mêmes conditions de fumure, lorsque les influences atmosphériques ne subissent pas de profondes modifications.

On pourra s'en rendre compte en consultant le tableau suivant qui résume les résultats analytiques des quatre années 1885-1888.

	POIDS des matériaux contenus dans 1 000 kilogr. de tubercules munis de leurs fanes.		RAPPORT de la potasse à l'acide phosphorique.
	Potasse.	Acide phosphorique.	
	kilogr.	kilogr.	
1 Sans engrais.	4,5	2,05	2,24
2 Avec engrais phosphaté seul	4,6	2,25	2,12
3 — potassique seul. . . .	5,92	1,61	3,90
4 — phosphaté et potassique.	5,93	2,04	3,00

Nous rappellerons que pour les nos 1 et 2, les rendements étaient peu élevés et à peu près les mêmes en 1 et 2 dans une même année, quoique très différents d'une année à l'autre. La même remarque

s'applique aux n°s 3 et 4, avec des rendements beaucoup plus considérables.

Une récolte de 30 000 kilogr. de tubercules contiendra, en acide phosphorique et potasse : 30 × 6 pour la potasse, soit 280 kilogr. ; 30 × 2 pour l'acide phosphorique, soit 60 kilogr.

Ces quantités correspondent à :

Chlorure de potassium	360 à 400 kilogr.
Superphosphate à 15 p. 100.	400 kilogr.

6° La moyenne des quantités d'azote contenues dans la récolte par 1 000 kilogr. de tubercules s'élève à 4^{kg},5 dans le cas des rendements maxima, soit 135 kilogr. dans une récolte de 30 000 kilogr.

Nous avons fait observer que les engrais azotés sont nécessaires, mais que la récolte contient normalement une quantité d'azote environ double de celle qu'on a employée comme engrais. Aussi, avons-nous reconnu que la dose de 60 kilogr. à l'hectare est suffisante ; cette quantité correspond à 400 kilogr. de nitrate de soude.

Suivant les conditions de richesse du sol en azote assimilable, on peut diminuer la fumure azotée jusqu'à 200 kilogr.

RECHERCHES

SUR LA

COMPOSITION DES TERRES DE LA CRAU

ET DES

EAUX ET LIMONS DE LA DURANCE

PAR

M. G. GASTINE

CHARGÉ DE MISSION AU MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

PREMIÈRE PARTIE

La plaine de Crau, couverte de cailloux roulés volumineux, fauve et aride, où les phénomènes de mirage commencent dès que le soleil en s'élevant à l'horizon surchauffe son sol dénudé, a de tout temps éveillé la curiosité des voyageurs et des naturalistes en quête de distinguer l'origine de cette formation singulière.

A défaut d'explications scientifiques, les anciens l'avaient ornée de légendes merveilleuses. Au XVIe siècle, le géographe Solery et, au XVIIe siècle, Gassendi, furent les premiers qui la rattachèrent à la Durance. Les opinions étaient néanmoins restées fort indécises, car au siècle dernier Buffon imagina d'expliquer la formation de la Crau par le refoulement d'une plage marine, tandis que de Saussure en faisait une dépendance du Rhône à l'époque glaciaire.

Un observateur provençal, Robert de Lamanon, comparant vers la

même époque les galets de la Durance à ceux immobilisés dans la Crau, établit leur parfaite identité et par suite l'origine véritable de ce territoire énigmatique.

Les géologues ont pleinement confirmé cette démonstration. On rencontre, en effet, dans toutes les parties de la Crau, les quarzites, les protogines des Alpes, mais aussi en particulier les euphotides et surtout les variolites, roches éruptives serpentineuses, qui caractérisent le massif du mont Genèvre, source de la Durance.

Les dimensions parfois énormes de ces galets, dont le grand axe atteint 30 à 40 centimètres, attestent la puissance mécanique du cours d'eau qui les a façonnés et charriés sur un parcours d'environ 250 kilomètres.

Des nivellements soignés ont démontré en outre que, malgré son aspect de plaine horizontale, la Crau est un talus offrant une pente environ égale à 3 mètres par kilomètre. Elle présente la forme d'un vaste triangle dont le sommet au nord-est atteint à Lamanon l'altitude de 107 mètres, tandis que la base opposée au sud-ouest finit à la cote + 1, à 31 kilomètres de distance, dans les marais du bas Rhône qui aboutissent à Fos.

Dans le sens de l'orientation de cette pente générale existent des vallonnements sensibles et même d'assez profondes dépressions, telles que les étangs d'Entressen et de Dezeaume.

Ces caractères montrent que la Crau est un vaste cône de déjections dont l'origine est au col de Lamanon, découpure des Alpines, à peine élevée de 20 mètres au-dessus du lit actuel de la Durance (87 mètres à Sénas). C'est par cette brèche que le cours d'eau se déversait directement à la mer pendant les époques pliocène et quaternaire. Le dépôt de la Durance est de même âge et de même nature que les alluvions des plateaux qui forment les terrasses supérieures de nos vallées actuelles ; sa formation est un phénomène corrélatif de l'immense extension des cours d'eau pendant la fin de l'époque glaciaire.

Le sol de la Crau est d'une uniformité remarquable, conséquence de son mode de formation. Il se compose d'une terre argileuse (14 p. 100 d'argile coagulable) et silico-ferrugineuse, rubéfiée par oxy-

dation, mélangée à une proportion considérable (50 à 60 p. 100) de cailloux roulés de toutes dimensions. Presque dépourvue de calcaire, cette couche n'offre en moyenne qu'une épaisseur de 40 centimètres ; rarement elle atteint 60 à 70 centimètres : ce sont alors les oasis de Crau, tels que certains territoires favorisés de Saint-Martin, d'Entressen, de Dezeaume, etc. Les masses caillouteuses les plus volumineuses existent dans la partie haute de la Crau, vers le col de Lamanon ; mais, jusqu'au pied de la formation, les galets conservent néanmoins des dimensions considérables.

Au-dessous de ce sol de Crau se trouve un banc de poudingue formé des mêmes éléments, moins volumineux cependant, agglutinés sous forme de rocher compact, d'épaisseur variable, par une gangue de carbonate de chaux. Lorsque le poudingue affleure près de la surface, on observe des espaces nus qui rappellent les taches salées ou *sansouïres* de la Camargue.

Sous le poudingue, le dépôt des graviers se retrouve, présentant une grande épaisseur et formé d'éléments identiques auxquels s'ajoute du calcaire sableux. La couche tout entière du sol, du poudingue et des graviers inférieurs, peut être estimée dans la Crau moyenne à 15 à 20 mètres de puissance. Autant qu'on peut en juger par la profondeur des puits, elle est plus considérable encore dans la partie haute de la Crau, vers Lamanon, tandis que vers le bas de la plaine, elle se réduit près des marais à 6 ou 7 mètres.

La disparition du carbonate de chaux dans la couche supérieure de la Crau, son accumulation dans le sous-sol à un niveau à peu près constant, sous forme de poudingue, sont des phénomènes corrélatifs qui résultent de l'action lente des eaux météoriques chargées d'acide carbonique. Le calcaire a été dissous dans la couche supérieure, entraîné dans le sous-sol, où il s'est précipité graduellement à mesure que les eaux s'évaporaient, durant les étés, au niveau de la masse infiltrée des graviers.

Avec un climat chaud et sous l'influence des vents secs qui parcourent cette plaine, de telles actions ont été énergiques ; leur continuité a donné naissance à cette couche épaisse et compacte du poudingue, véritable rocher qu'on ne réussit à entamer qu'à coups de mine.

Cette migration des principes solubles est d'ailleurs bien connue. On l'observe dans la plupart des dépôts arénacés et limoneux, dans les alluvions anciennes surtout, primitivement calcaires, maintenant siliceuses, tandis que ce sel s'est accumulé dans le sous-sol à des profondeurs variables suivant la perméabilité des couches[1]. L'*alios* du Médoc a été formé dans des conditions analogues de lessivage superficiel ; mais, en l'absence du calcaire, c'est un ciment ferrugineux et organique qui a imperméabilisé et consolidé la couche de graviers et sables siliceux du sous-sol. Risler a signalé, dans son beau cours de géologie agricole, beaucoup de faits du même ordre.

En visitant en Crau les tranchées ouvertes jusqu'au-dessous du poudingue le long de la voie ferrée ou l'une des excavations creusées sous le nom d'*éponges*, pour évacuer les eaux superficielles, il est très facile d'observer ce phénomène d'entraînement du calcaire. Les galets accumulés au-dessous du poudingue portent des concrétions calcaires disposées comme les stalagmites des grottes, c'est-à-dire en rapport direct avec les infiltrations aqueuses de la surface. En s'augmentant insensiblement, ces concrétions ont rempli les interstices des graviers.

La Crau repose en grande partie sur la *molasse marine* (helvétien), dont on remarque quelques affleurements émergeant à peine au-dessus de la plaine au nord d'Entressen. Ce sont des îlots ou pitons rocheux de faibles dimensions à ce niveau. A l'est, la Crau est d'ailleurs limitée par la même formation qui constitue les coteaux de Grans, Salon, Miramas, Istres et Fos. Au nord, la montagne du Défends et le col de Lamanon sont formés de molasse. Quelques lambeaux de cette formation séparent encore la Crau de la vallée des Baux. Partout ailleurs la Crau se trouve, le long des Alpines, en contact avec les calcaires du crétassé et du jurassique supérieur.

Au sud-ouest et à l'ouest, la Crau est recouverte par les dépôts tourbeux et les limons des marais, formations modernes dues aux alluvions du Rhône qui constituent le plan du Bourg et le delta de Camargue. Au nord-ouest, la Crau domine en talus très escarpé la

1. Le limon rouge du bassin parisien, le lehm des Dombes, etc., sont dans ces conditions en ce qui concerne l'absence de calcaire dans les couches supérieures.

région également moderne des anciens marais d'Arles et des Baux, aujourd'hui desséchés. Cet escarpement, qui se continue le long des marais, en s'abaissant graduellement vers le sud jusqu'à Fos, constitue la Coustière, talus d'érosion creusé par le courant du Rhône sur les bords du cône de déjection de la Durance. A Fos, la Coustière est à peine sensible, et c'est par contraste avec la surface horizontale des marais qu'on peut la distinguer.

De l'autre côté de la Camargue existe un delta torrentiel du Rhône, de même âge que la Crau, avec cailloux de quartzites alpestres, le plateau de la Coustière de Saint-Gilles. D'après Collot, des traces de cette même formation existent sous forme d'un poudingue qui se retrouve à Arles et à Saint-Martin-de-Crau, poudingue pliocène idendique à celui de Montpellier.

Une nappe aquifère traverse les graviers de Crau et alimente, à une profondeur à peu près constante de 12 à 14 mètres, les puits de la Crau moyenne. Elle maintient à un niveau uniforme les étangs d'Entressen et de Dezeaume. A la base de la Crau, cette nappe donne naissance à une multitude de sources ou *laurons*, qui sourdent dans les marais. La Compagnie du desséchement des marais de Fos et du bas Rhône a creusé autour de sa concession un canal de ceinture pour capter le mieux possible ces eaux et les évacuer vers la mer. Néanmoins on découvre fréquemment des *laurons* qui rendent très difficiles les labours de défrichement. C'est une croyance générale en Crau que cette nappe souterraine provient des infiltrations de la Durance, qui se feraient jour à travers l'isthme de Lamanon.

Les faibles tombées d'eau du versant méridional des Alpines ($0^m,45$ à $0^m,50$ par an) semblent en effet insuffisantes pour alimenter ces sources et maintenir à un niveau invariable les dépressions de la Crau (Entressen, Dezeaume). Aucun sondage, aucune indication ne peut être invoquée, toutefois, pour étayer cette hypothèse. Les puits de la haute Crau n'atteignent la nappe aquifère qu'à 20 mètres au plus. Près de Fos, par contre, M. Julien de la Feuillane a pu, en creusant des tranchées de 4 mètres de profondeur dans les graviers, puiser l'eau avec une pompe à vapeur et augmenter dans une mesure importante les étendues soumises aux irrigations.

Les aptitudes du sol de la Crau au point de vue physique sont

aisées à déduire du rapide aperçu que nous venons de tracer. On comprend que l'épaisseur si faible de la couche du sol, réduite encore par la masse inerte et considérable des pierres, que l'existence d'un poudingue qui isole le sol des graviers inférieurs, soient des conditions peu favorables à la vie végétale. La Crau est vouée, en effet, au fléau des sécheresses estivales ; quoique très argileux, son sol ne peut retenir une quantité d'eau notable, car la masse des pierres réduit sa puissance d'absorption et facilite singulièrement le passage de l'eau jusqu'aux fissures du poudingue. Les actions capillaires n'agissent que faiblement dans un tel milieu, pour humecter plus tard le sol supérieur.

On ne remarque dans le *coussous*[1] de Crau qu'une végétation rare et naine d'herbages très substantiels, il est vrai, mais dont la croissance est arrêtée dès le commencement des chaleurs. Vers les premiers jours de juin, les troupeaux de moutons transhument dans les vallées alpestres pour ne revenir qu'en octobre ou en novembre. L'industrie pastorale réduite à une courte période d'occupation et réclamant de vastes espaces de pâtis, tel est le lot de la Crau dans les conditions faites par la nature[2].

La création des canaux d'arrosage a révolutionné ces conditions primitives. Avec l'irrigation, certains défauts du sol de Crau, sa grande perméalibilité, par exemple, deviennent des avantages. Il serait difficile de trouver un territoire plus directement placé sous la dépendance immédiate des bienfaits de l'eau et qui en ait mieux profité.

Sur les 38 000 hectares de pâtis anciens, les canaux de Craponne, terminés en 1559, et ceux des Alpines, terminés en 1773, ont conquis à l'agriculture 20 000 hectares environ. Là, où un couple de brebis pouvait à peine subsister pendant la moitié de l'année (1 hectare) se trouvent des prairies donnant, bon an mal an, 7 000 à 8 000 kilogr. de fourrages sur le sol nu de la Crau, et 10000 à 12000 kilogr. dans les parties améliorées par une longue appropriation.

---

1. Coussoul ou Coussous, de *Corsorium*, terre de parcours libre.

2. On trouvera, à la fin de ce rapport, une note renfermant des indications sur la flore des pâturages de Crau.

RECTIFICATION

Un lapsus de compositeur a rendu inintelligible le petit tableau de la page 448, ligne 15, du travail de MM. Petermann et Graftiau, paru dans le dernier fascicule des *Annales*. Il faut le remplacer par les lignes suivantes :

	OXYDE calcique. — p. 100		SOLUBILITÉ citrique de l'acide phosphorique. — p. 100
Minimum . .	0.84	Maximum . .	93.4
Maximum . .	5.67	Minimum . .	37.6

De toutes les cultures, la plus répandue en Crau est en effet celle des prairies naturelles et artificielles. Établies sur des planches d'irrigation d'une largeur de 100 mètres en moyenne, on les protège des vents desséchants par des haies serrées de cyprès (cyprès pyramidal) orientées de manière à briser les vents dominants. Les prairies de légumineuses, particulièrement la luzerne, rarement le sainfoin, servent de point de départ à l'établissement des prairies de graminées. Sous l'influence de l'azote des fumiers et des graines apportées, les légumineuses disparaissent[1] ; la transformation est rapide et les propriétaires ont l'avantage d'obtenir plus tôt des récoltes rémunératrices. L'emploi des engrais chimiques permet au contraire de maintenir plus longtemps pures les luzernières, dont les rendements en foin sont supérieurs à ceux de la prairie, tout en exigeant moins d'arrosages.

Nous ne citerons que pour mémoire la culture des céréales, sans intérêt pour la Crau, car le produit en est nul sur les terres de coussous et très inférieur aux prairies dans les sols améliorés.

On rencontre en Crau, à Raphèle, Saint-Martin, Entressen, Salon, Miramas, des prairies séculaires dont la création date de l'origine même des irrigations. Les limons graduellement apportés par les canaux ont constitué dans ces anciennes prairies un sol nouveau recouvrant sur $0^m,35$ à $0^m.40$ d'épaisseur le cailloutis de Crau. La réserve organique contenue dans ces sols est considérable : on y trouve 3 à 4 p. 1 000 d'azote ; le taux d'acide phosphorique est aussi bien plus considérable que celui des terres de Crau et celui des limons montrant ainsi l'action des fumures soutenues qui, dans notre région méridionale, sont un complément nécessaire des irrigations. C'est en considérant la composition de ces sols et en la comparant à celle des terres vierges du coussous que l'on pourra le mieux apprécier les progrès agricoles réalisés par le régime des irrigations appliquées à un territoire originairement déshérité comme valeur foncière.

Les foins aromatiques de Crau jouissent en Provence d'une préférence et d'une plus-value marquée sur les produits similaires de la

1. Cette disparition est complète en cinq ou six ans.

région. En dehors des trois coupes qui constituent la récolte, le regain est loué aux propriétaires de troupeaux jusqu'en février (herbes d'hiver) et constitue un produit supplémentaire tant par le prix de location (30 à 50 fr. par hectare) que par le fumier acquis au domaine.

Pour compléter ce rapide aperçu sur la physionomie agricole de la Crau, il est indispensable de signaler quelques cultures très secondaires en comparaison des prairies, mais qui offrent néanmoins de l'intérêt en montrant les ressources variées qu'offre, malgré ses défauts, ce territoire.

Sur les bords de la Crau, le long des pentes de Grans, Salon, Miramas, Istres, ainsi qu'à Lamanon, existent d'importantes plantations d'amandiers ; on leur réserve les sols secs, et hors de Crau elles se continuent sur les pentes et les éboulis de la molasse.

L'olivier occupe les mêmes stations, mais il est plus répandu encore sur les parties mieux abritées du versant des Alpines et profite de l'eau des canaux lorsqu'elle devient disponible pendant les fenaisons.

Malgré ces conditions favorables et quoique l'olivier soit fumé et bien entretenu, sa culture est de jour en jour abandonnée, les profits qu'elle laisse étant insuffisants depuis l'avilissement du prix de l'huile d'olive par la concurrence des huiles de graines. C'est avec regret qu'on verra disparaître une culture si lente à établir et qui est liée d'une manière si intime au climat et aux traditions de la Provence. Voici un fait qui permettra de mesurer combien cette disparition est rapide : dans la seule commune d'Eyguière, 50 000 pieds d'oliviers ont été arrachés en 1889-1890 pour faire place à des prairies.

A la faveur de l'abri des vents du nord et de l'exposition méridionale, la culture des primeurs a pris une certaine importance dans ces mêmes communes d'Eyguière, Aureille, Mouriès, adossées aux Alpines.

Les produits arrivent à maturité avant l'époque où les mêmes récoltes deviennent disponibles dans la vallée de la Durance. La pénurie d'eau est malheureusement un obstacle à l'extension de ces cultures intensives. Signalons encore en Crau, mais pratiquée un peu partout, la culture des poids chiches.

Sans l'apparition du phylloxéra, la culture de la vigne se serait assurément beaucoup répandue en Crau et elle aurait permis de mettre en valeur bien des parties de territoire que le volume d'eau insuffisant des canaux d'irrigation ne permet pas d'utiliser jusqu'ici; mais, dans un sol aussi sec, le fléau phylloxérique a pris une intensité extrême, et les plantations ont été détruites en peu d'années. Le peu de profondeur du sol, surtout l'abondance des pierres, rendent impraticables les traitements au sulfure de carbone. Les sulfocarbonates, que nous avons expérimentés en 1877 à la Massuguière, près d'Istres, pouvaient assurément maintenir le vignoble. On trouve, en effet, en Crau les mêmes conditions qui ont assuré à ce moyen de défense un large emploi dans le Médoc. Le peu de profondeur du sol, l'assise de poudingue qui le limite, permettent l'imbibition complète, par le liquide toxique, de toute la masse du terrain occupée par les racines. La Crau avait par ses canaux la facilité d'employer sans grands frais cet insecticide, tandis que dans le Médoc l'élévation de l'eau et son transport aux vignes entrent pour une grosse part dans la dépense du traitement.

Dans le sol siliceux de Crau, c'est avec les vignes américaines toutefois qu'il convient actuellement d'agir pour constituer des vignobles ; on n'a pas à redouter la chlorose si fréquente en sols calcaires. Les Riparia, le Rupestris viennent admirablement ; ce sont les cépages à recommander de préférence au Solonis et surtout au Jacquez dont on a abusé. On peut voir d'importantes plantations de vignes américaines greffées en Mourevèdre, Cinsaut, Carignane et Alicante-Bouschet dans les domaines de la Péronne et du Lucquier appartenant à la Compagnie du desséchement des marais de Fos; les rendements ne dépassent pas 30 à 35 hectolitres par hectare, mais les vins obtenus sont de qualité supérieure ; ils rappellent les anciens vins de Crau, très appréciés pour leur bouquet et leur finesse. Comme les prairies, les vignes ont besoin d'être protégées par des brise-vents ; l'arrosage pratiqué au début a été abandonné par la plupart des propriétaires.

Une dernière culture doit être signalée, celle de la truffe, qui existe en Crau partout où se montrent des bois de chênes verts et de chênes kermès, par exemple au domaine de la Vacquière, près Saint-

Martin, à Cabane au nord de l'étang d'Entressen, sur les bords de la Crau à Sulauze, à la Feuillane, près de Fos, etc. Les truffes de Crau sont de qualité supérieure et il est permis d'espérer qu'en créant artificiellement des conditions plus favorables encore que celles qui existent, on pourra tirer un excellent parti de cette aptitude du sol qui a fait la fortune des autres régions truffières.

Si rapide et incomplet que soit ce résumé, il a paru nécessaire de le tracer autant pour fournir un tableau général de la Crau que pour bien distinguer les points intéressants à considérer dans une étude chimique de ses sols et des causes qui les ont améliorés.

Nous diviserons le travail qui va suivre en deux chapitres distincts.

Le premier contiendra l'étude des terres de Crau, terres de coussous et terres colmatées par les irrigations.

Le second, celle des eaux et des limons de la Durance, dont le rôle est si considérable dans les améliorations agricoles de la Crau qu'il était difficile de l'en séparer, sinon par cette distinction artificielle.

I. — COMPOSITION DES TERRES DE LA CRAU.

L'analyse de la terre fine du sol de Crau renseignerait mal l'observateur qui se contenterait d'enregistrer les résultats obtenus pour juger de la valeur du sol. Il y a lieu d'appliquer ici une réduction considérable sur ces chiffres, car le lot caillouteux inerte diminue d'autant la richesse spécifique du sol, suivant la remarque si judicieuse de MM. Risler et Pradel.

L'appréciation du lot caillouteux offre donc une grande importance en Crau. Mais, tandis que dans les terres ordinaires cette détermination se fait aisément, car il est rare que les pierres ne puissent être évaluées exactement avec un échantillon de terre de 4 à 5 kilogr. examiné en entier au laboratoire, il faut en Crau opérer sur quelques centaines de kilogrammes pour obtenir un chiffre digne de confiance. Le poids de certains galets dépasse, en effet, 5 à 6 kilogr. et ces galets sont si abondants qu'on ne saurait les écarter sans diminuer dans une proportion élevée la valeur du lot pierreux.

Voici un exemple de détermination faite sur place à Sulauze, près Miramas, sur un sol de coussous non épierré.

Un trou rectangulaire a été creusé jusqu'au poudingue sans l'entamer ; tout le contenu a été mis en sac et pesé avec une balance romaine ; puis à l'aide d'un crible de maçon à larges mailles, incliné à 45 degrés, on a séparé par plusieurs repasses tous les galets volumineux. La partie passée au crible a été pesée, rendue homogène par mélange et elle a servi à constituer un échantillon moyen examiné au laboratoire, dans les conditions habituelles.

L'excavation mesurait :

		VOLUME.
Largeur.	$0^m,45$	—
Longueur	0 ,85	$153^{dc},0$
Profondeur	0 ,40	

On a obtenu :

Poids total de la terre et des pierres.	252 kilogr.
Poids des galets volumineux.	89 —
Poids de la terre et des pierres n'excédant pas $0^m,025$ de diamètre.	163 kilogr.

Les galets volumineux représentent dans cette expérience 35.4 p. 100 du poids de la masse du sol, et ce dernier offre en place une densité apparente de 1 647 kilogr. par mètre cube.

Poursuivie au laboratoire, l'analyse mécanique a donné, sur $6^{kg},470$:

Graviers et pierres lavés retenus sur le tamis de 10 fils par centimètre carré.	$2^{kg},318$
Terre fine passée directement au même tamis et enlevée par lavage du lot ci-dessus	4 ,152

100 de sol renfermaient donc :

Gros galets	35.0	58.5
Graviers et pierres	23.5	
Terre fine.		41.5

Sur ma demande, M. de Montricher a bien voulu faire aux Poulagères, dans le domaine de la Société d'assainissement de Marseille, une vérification de même nature.

Les moyens qu'il a employés sont un peu différents : au lieu de

procéder par pesées, il a mesuré au caisson les volumes apparents des lots obtenus, en se servant pour la séparation d'un tamis à mailles de $0^m,015$, tandis que celui dont je m'étais servi à Sulauze, il est vrai en plan incliné, avait $0^m,030$ environ. Malgré ces différences, je rapporterai cette observation.

Un espace de 1 mètre de superficie a été d'abord épierré à la surface, puis creusé jusqu'à $0^m,40$, niveau d'affleurement du poudingue.

Les pierres de la surface ont donné au mesurage un volume de	$37^{dc},50$
Le contenu du trou enlevé sur $0^m,20$ de profondeur et passé au tamis a donné : terre fine et menues pierres, volume	161 ,25
La couche inférieure de $0^m,20$ à $0^m,40$	152 ,65
Le volume des lots terre fine et menues pierres.	$313^{dc},90$
Le volume des grosses pierres et des deux lots précédents a donné.	$497^{dc},40$
D'où on a déduit le foisonnement par la différence avec le volume de l'excavation	400 ,00
Foisonnement.	$97^{dc},40$

C'est-à-dire 24.35 p. 100.

En admettant que cet accroissement de volume ait été le même dans les deux lots, ce qui ne saurait être bien exact, on aurait :

Volume occupé par les pierres volumineuses. . .	$183^{dc},5$	36.9
Volume occupé par la terre et les pierres menues.	313 .9	63.1
Total	$497^{dc},4$	100.0

L'échantillon de terre et de menues pierres a donné au laboratoire les résultats suivants :

	COUCHE supérieure.	COUCHE inférieure.
	0^m à $0^m,20$	$0^m,20$ à $0^m,40$
Pierres	8.50	19.40
Terre fine	91.50	80.60
	100.00	100.00

Moyenne des pierres dans les deux lots, 13.95 p. 100.

J'ai essayé de transformer en poids ces mesures de volume en

déterminant, d'une part, le poids spécifique apparent de la terre et des menues pierres (= 1 200) et en adoptant pour la terre en place, comprenant tous les éléments, la densité apparente de 1 647 kilogr. par mètre cube, résultant de l'essai de Sulauze plus haut rappelé ; voici les résultats obtenus :

	CRAU	
	épierrée.	non épierrée.
Pierres au-dessus de 15 millimètres et gros galets.	42.80	47.48
Graviers et pierres menues	7.95	7.30
Terre fine.	49.25	45.22
Total	100.00	100.00

On peut admettre que le lot pierreux est compris entre 50 et 60 p. 100 du poids de la terre et calculer d'après ces bases la teneur des principes utiles déterminés dans la terre fine.

Avant de donner les analyses complètes qui se rapportent aux sols de Crau, j'examinerai comparativement la richesse spécifique de ces sols pour chacun des éléments fertilisants, azote, acide phosphorique, potasse, chaux, acide sulfurique, magnésie.

La terre fine extraite du coussous de Crau est moyennement riche en azote. On y trouve sensiblement 1 gramme de cet élément par kilogramme ; quelques terres arrivent à 1 gr. 1/2. Mais en appliquant la réduction de 50 p. 100 résultant du lot pierreux, on peut considérer que ces terres sont pauvres, d'autant plus pauvres même que leur profondeur est minime. On s'explique ainsi l'impérieuse nécessité des fumures azotées constamment appliquées aux doses de 15 000 à 20 000 kilogr. de fumier par hectare et par an. Je transcris les dosages d'azote effectués sur les terres fines de Crau.

Dosages de l'azote dans les terres fines de Crau, par kilogramme ; résultats en grammes.

1. Coussous à Sulauze (profondeur, $0^m,30$)	1,156
2. Jeune luzernière à Sulauze (profondeur, $0^m,30$) . . .	1,550
3. Coussous à Miramas (profondeur, $0^m,30$).	1,552
4. Coussous de Crau aux Poulagères (profondeur, $0^m,40$).	0,875
5. Crau défrichée et fumée aux balayures de Marseille en 1889-1890 à raison de 60 tonnes, ayant porté des avoines (récolte, 28 hectolitres de grains), couche supérieure (aux Poulagères)	1,150

6. Coussous aux Poulagères (couche de $0^m,40$) :	
La 1re couche de 0^m à $0^m,20$	1,700
La 2e couche de $0^m,20$ à $0^m,40$	1,193
7. Terre non colmatée à Saint-Martin, Mas de Gouin (profondeur, $0^m,40$).	1,146
8. Prairie du Vieux-Mazet à Sulauze, type des vieilles prairies colmatées de Crau (couche de $0^m,40$), pas de pierres	3,770
Coussous de Crau à Bord-Carrère, près Sulauze (profondeur, $0^m,40$).	1,180
Coussous à Entressen (profondeur, $0^m,40$)	1,300
Prairie de Crau, ancien colmatage à Raphèle (profondeur, $0^m,40$)	3,750

Pour les terres colmatées, il n'y a pas lieu de faire la réduction du taux de l'azote. On remarquera leur énorme richesse en cet élément, conséquence du régime de la prairie et des fumures. Si on admet la moyenne de 1.20 pour les terres de coussous, richesse réduite à 0,60 par le lot pierreux, les terres anciennement colmatées peuvent être considérées comme pourvues d'un capital d'azote environ six fois supérieur.

L'acide phosphorique est moins abondant encore que l'azote dans les terres naturelles de Crau. Voici les dosages obtenus.

Dosages de l'azote dans les terres fines de Crau, par kilogramme; résultats en grammes.

1. Coussous de Crau à Sulauze (profondeur, $0^m,30$). . .	0,990
2. Jeune luzernière à Sulauze (profondeur, $0^m,30$) . . .	0,880
3. Coussous à Miramas (profondeur, $0^m,30$).	0,880
4. Coussous aux Poulagères (profondeur, $0^m,40$). . . .	1,030
5. Crau défrichée et fumée avec 60 tonnes de balayures de Marseille aux Poulagères en 1889-1890, ayant porté des avoines, couche supérieure	1,280
6. Coussous aux Poulagères :	
Couche de 0^m à $0^m,20$	0,910
Couche de $0^m,20$ à $0^m,40$.	0,820
7. Terre non colmatée à Saint-Martin, Mas de Gouin . .	0,530
8. Prairie du Vieux-Mazet, à Sulauze.	1,970
Coussous à Bord-Carrère, près Sulauze (profondeur, $0^m,40$)	0,890
Coussous à Entressen (profondeur, $0^m,40$)	0,860
Prairie colmatée anciennement à Saint-Martin	1,880

La moyenne du taux d'acide phosphorique est, par kilogramme de terre fine, d'environ $0^{gr},900$ dans les terres de coussous, c'est-à-dire $0^{gr},45$ en appliquant la réduction proportionnelle au lot pierreux. Les prairies colmatées qui ne renferment pas de pierres atteignent presque 2 gr.; on peut donc, sans exagération, les considérer sous ce rapport comme quatre fois plus riches que les premières.

Nous reviendrons plus loin sur les fumures phosphatées très usitées en Crau et qui donnent de magnifiques résultats associées aux fumures azotées.

Par la nature minéralogique de son sol, extrêmement riche en débris feldspatiques, la Crau devait se montrer bien pourvue en potasse.

On trouvera dans le tableau ci-dessous les quantités de cet alcali, qui ont été déterminées par trois méthodes distinctes :

1° Par l'action à froid des acides faibles (procédé Schlœsing);

2° Par l'attaque régale à chaud (procédé de Gasparin);

3° Par l'action de l'acide fluorhydrique sur le résidu insoluble de l'attaque régale.

Dosages de potasse dans les terres de Crau, par kilogramme de terre fine.

	PROCÉDÉ Schlœsing.	PROCÉDÉ de Gasparin.	POTASSE totale (attaques régale et fluorhydrique).
	gr.	gr.	gr.
1. Coussous à Sulauze (couche de $0^m,30$)	0,280	2,41	19,43
2. Jeune luzernière à Sulauze (couche de $0^m,30$) .	0,300	2,21	17,71
3. Coussous à Miramas (couche de $0^m,30$) . . .	0,270	2,04	17,56
4. Coussous aux Poulagères (couche de $0^m,40$) .	0,288	1,77	18,97
5. Crau défrichée et fumée avec les balayures de Marseille (couche supérieure)	»	4,16	»
6. Coussous aux Poulagères :			
Couche supérieure $0^m,20$	0,360	3,39	19,89
Couche inférieure $0^m,20$ à $0^m,40$	0,210	2,90	18,90
7. Terre non colmatée à Saint-Martin-de-Crau (profondeur, $0^m,40$)	»	4,90	»
8. Prairie du Vieux-Mazet, à Sulauze (profondeur, $0^m,40$)	»	3,41	16,61

En réunissant en un seul chiffre la potasse déterminée dans l'attaque régale et celle de l'attaque fluorhydrique du résidu, on a obtenu le taux de la potasse totale enfermée dans l'échantillon, indication dont Berthelot a démontré le grand intérêt.

Les engrais potassiques sont sans action en Crau. Un grand propriétaire, M. Paul, en a fait, il y a deux ans, une épreuve décisive sur les vastes luzernières (50 hectares) qu'il a créées à Sulauze. Ce résultat pouvait être prévu d'après l'origine même de la formation de la Crau, dont les matériaux sont empruntés aux roches primitives riches en potasse. Les limons de Durance qui ont formé les sols colmatés doivent leur richesse en cet alcali à la même cause.

La chaux est peu abondante dans les terres de Crau, mais elle y est toujours représentée et en grande partie à l'état de carbonate de chaux actif, comme on peut le constater avec l'appareil de M. de Montdésir. Les quantités de calcaire que cette méthode permet de déterminer varient entre $0^{gr},400$ à 1 gr. p. 100 de terre fine, quantités largement suffisantes au point de vue de l'alimentation des plantes, mais qui n'excluent pas les fumures calciques nécessaires pour favoriser la nitrification. Quant aux sols colmatés, ils renferment 20 à 25 p. 1 000 de carbonate de chaux.

L'acide sulfurique fait défaut dans les terres de Crau. Depuis longtemps Risler a fait la remarque que les sulfates n'existaient souvent qu'en très faible proportion dans les terres arables et que leur présence était cependant nécessaire à la croissance des plantes, toutes les cendres végétales renfermant ces sels en quantités notables. Parmi les nombreux échantillons de terre qui ont été analysés par MM. Risler et Pradel, ceux qui appartiennent aux alluvions anciennes des plateaux, c'est-à-dire au même étage géologique que la Crau, se sont montrés exempts de sulfates. Les mêmes causes qui ont fait disparaître le carbonate ont donc entraîné, mais d'une manière bien plus complète, le sulfate calcique infiniment plus soluble. Le gypse, d'ailleurs, ne se trouve en amas que là où il a été protégé par des couches d'argile imperméables, comme le chlorure de sodium qui l'accompagne si souvent.

Cette absence de sulfates explique les effets remarquables du plâtrage, du sulfate d'ammoniaque, les superphosphates, indépendam-

ment du rôle utile que jouent en même temps la chaux, l'azote et l'acide phosphorique dans les terres de Crau. Elle explique aussi l'action fertilisante des eaux de la Durance, toujours assez riches en sulfate calcique, comme l'a signalé M. de Gasparin.

Dans les terres colmatées, les sulfates existent en proportions notables ; il est probable que la matière organique de ces sols a de plus fixé du soufre, qui pourrait être déterminé en suivant la méthode recommandée par Berthelot.

La magnésie est représentée largement dans les sols de Crau, qui en contiennent en moyenne un demi p. 100. Les sols colmatés sont encore plus riches en cet élément, d'ailleurs l'un des plus uniformément répandus et diffusés dans les roches qui composent l'écorce terrestre.

Ainsi qu'on le voit, les terres de Crau ont surtout beaucoup besoin d'engrais phosphatés et azotés. A l'égard des premiers, on doit donner la préférence aux superphosphates à cause des quantités de sulfates qu'ils apportent au sol qui en est dépourvu. Pour le même motif, le plâtrage doit être conseillé comme une pratique régulière des plus utiles[1].

Il n'est pas hors de propos de rappeler ici quelques règles fondamentales de l'action des engrais qui résultent de toutes les expériences acquises, mais que trop peu de propriétaires savent mettre en pratique. Elles peuvent être énoncées dans les termes suivants :

Si tous les éléments de fertilité sont réunis dans une terre en proportions convenables pour les besoins d'une culture donnée, la croissance des plantes atteint son apogée et peut fournir une production maxima ;

Si l'un des éléments manque complètement, c'est comme si tous faisaient défaut ; le sol demeure stérile malgré la présence de tous les autres ;

Si l'un d'eux n'est pas en proportion suffisante, le rendement sera

1. On pourra opposer à cette utilité du plâtrage la présence d'abondantes quantités de sulfates dans les eaux de la Durance. Cependant c'est un fait acquis à la pratique que le plâtrage donne de beaux résultats en Crau.

réduit, tout comme si les autres faisaient au même degré défaut dans le terrain ; la *production*, en d'autres termes, *reste toujours proportionnelle au facteur le plus faible* et il ne sert de rien que les autres éléments soient en grand excès.

En pratique, ces règles se traduisent par la notion suivante :

Il importe, pour tirer parti au maximum des fumures azotées qui sont les plus chères, et qu'on doit le plus épargner, de réaliser au préalable dans le sol un approvisionnement largement suffisant d'acide phosphorique, de chaux et des autres éléments nécessaires. Quand cette condition est remplie, l'emploi des fumures azotées devient le régulateur de la fertilité. Cette condition est d'autant plus nécessaire que la répartition de l'acide phosphorique dans le sol ne s'effectue que lentement et que les pertes par solubilité sont nulles pour cet agent fertilisant. On peut donc sans inconvénient l'appliquer en excès.

En Crau, l'acide phosphorique, l'acide sulfurique, la chaux sont des éléments dont il importe d'approvisionner le sol pour tirer parti des fumures azotées également nécessaires ; employées seules, ces dernières ne donneraient pas tous les effets qu'on peut en attendre.

Je reproduis ci-après la série des analyses, dont quelques-unes complètes, que j'ai effectuées sur les terres de Crau : analyses physico-chimiques, suivant la méthode de Schlœsing, analyse chimique des parties solubles dans les acides bouillants, analyse du résidu insoluble par l'attaque fluorhydrique[1].

N° 1. — Coussous de Crau à Sulauze.

Profondeur de la couche, 30 centimètres. L'échantillon a été pris par M. de Laroque, professeur d'agriculture, avant la création d'une prairie artificielle, pendant le défrichement.

Le lot pierreux total atteint 50 p. 100 après épierrage.

---

1. Voir annexe 2 pour la description sommaire des méthodes d'analyse employées dans ce travail.

Analyse physico-chimique sur 100 de terre sèche.

Gros sable . .	56.64	Siliceux	55.84	
		Calcaire	0.20	(dosé).
		Débris organiques . .	0.60	
Impalpable . .	43.36	Siliceux	28.17	
		Calcaire	0.60	(dosé).
		Argile	14.33	
		Humus	0.26	
			100.00	

Analyse chimique sur 100 de terre fine sèche.

Partie soluble dans les acides forts à chaud, 8.012.	Acide phosphorique	0.099	8.012
	Acide sulfurique	0.000	
	Potasse	0.241	
	Chaux.	0.350	
	Magnésie.	0.482	
	Oxyde de fer	3.785	
	Oxyde de manganèse	0.020	
	Alumine	3.035	
Insoluble calciné attaqué par l'acide fluorhydrique, 87.260.	Potasse	1.702	87.260
	Soude	0.704	
	Chaux.	0.349	
	Magnésie.	0.330	
	Alumine	8.813	
	Silice par différence	75.362	
Matières organiques, eau des hydrates et substances non dosées.			4.728
			100.000

Azote p. 100 de terre sèche, 0.1156.

N° 2. — Jeune luzernière à Sulauze.

Couche, 30 centimètres. Pièce à l'arrosage ayant reçu du fumier et des phosphates métallurgiques.

Lot pierreux grossier	30	100
Gravier et petites pierres	20	
Terre fine.	50	

Analyse physico-chimique sur 100 de terre fine.

Humidité			5.65
Gros sable	56.80	Siliceux	55.19
		Calcaire	0.45
		Débris organiques	1.16
Impalpable	37.55	Siliceux	21.65
		Calcaire	1.37
		Argile	14.30
		Humus	0.23
			100.00

Analyse chimique sur 100 de terre fine sèche.

Partie soluble dans les acides chauds bouillants.	Acide phosphorique	0.088	8.039
	Acide sulfurique	Traces	
	Potasse	0.221	
	Chaux	0.708	
	Magnésie	0.382	
	Oxyde de fer et alumine	6.640	
Insoluble calciné. Silice et silicates renfermant : potasse, 1.62.			86.720
Matières organiques, eau des hydrates et substances non dosées.			5.241
			100.000

Azote p. 100 de terre sèche, 0.155.

N° 3. — Coussous de Crau à Miramas.

Échantillon pris à 25 mètres d'une éponge des ponts et chaussées. Profondeur, 30 centimètres. Quelques débris de poudingue se sont trouvés dans l'échantillon.

Lot pierreux grossier	34	100
Graviers et pierres	19	
Terre fine	47	

Analyse chimique sur 100 de terre fine sèche.

Partie soluble dans les acides bouillants.	Acide phosphorique	0.088	9.510
	Acide sulfurique	0.000	
	Potasse	0.204	
	Chaux	1.640	
	Magnésie	0.498	
	Oxyde de fer et alumine	7.080	
Insoluble calciné. Silice et silicates renfermant : potasse, 1.552.			83.840
Eau des hydrates, matières organiques, acide carbonique et corps non dosés			6.650
			100.000

Azote p. 100 de terre sèche, 0.155.

N° 4. — Coussous de Crau aux Poulagères.

Échantillon pris jusqu'au poudingue, à 40 centimètres de profondeur et à 150 mètres à l'est de la voie ferrée du domaine.

Analyse physico-chimique sur 100 de terre fine sèche.

Gros sable . .	57.12	Siliceux.	56.39
		Calcaire.	0.29
		Débris organiques.	0.44
Impalpable . .	42.88	Siliceux.	27.48
		Calcaire.	0.75
		Argile.	14.45
		Humus	0.20
			100.00

Analyse chimique sur 100 de terre fine sèche.

Partie soluble dans les acides bouillants.	Acide phosphorique	0.103	7.520
	Acide sulfurique	0.000	
	Potasse.	0.177	
	Chaux	0.464	
	Magnésie	0.616	
	Alumine et oxyde de fer . . .	6.160	
Insoluble calciné. Silice et silicates, dont potasse, 1.72.			88.128
Eau des hydrates, matières organiques et substances non dosées.			4.352
			100.000

Azote p. 100 de terre sèche, 0.0875.

N° 5. — Crau défrichée en 1889-1890, au domaine des Poulagères, ayant reçu une fumure de 68 tonnes par hectare de balayures de Marseille.

Cultivée en avoine ; rendement, 28 hectolitres de grains. Couche supérieure. Échantillon pris à 200 mètres au sud-est du précédent.

Analyse chimique sur 100 de terre fine sèche.

Partie soluble dans les acides bouillants.	Acide phosphorique	0.128	10.420
	Acide sulfurique	Traces	
	Potasse.	0.416	
	Chaux	1.588	
	Magnésie	0.560	
	Alumine et oxyde de fer . . .	7.728	
Silice et silicates insolubles calcinés.			83.532
Eau des hydrates, acide carbonique, matières organiques et substances non dosées			6.048
			100.000

Azote p. 100 de terre sèche, 0.115.

N° 6. — Coussous de Crau aux Poulagères.

Pris à 600 mètres au nord du précédent. Cet échantillon a servi à la détermination rapportée plus haut, pour l'évaluation du lot pierreux par des mesures de volume effectuées par M. de Montricher.

L'analyse chimique a été faite séparément :

(A) Sur la couche de $0^m,00$ à $0^m,20$.

(B) Sur la couche de $0^m,20$ à $0^m,40$.

Analyse chimique sur 100 de terre fine sèche.

		A.		B.	
Partie soluble dans les acides bouillants.	Acide phosphorique	0.091	8.868	0.082	9.028
	Acide sulfurique	0.000		0.000	
	Potasse	0.339		0.290	
	Chaux	0.384		0.372	
	Magnésie	0.560		0.370	
	Oxyde de fer et alumine	7.684		7.824	
Insoluble calciné			86.012[1]		86.764[2]
Eau des hydrates, matières organiques et substances non dosées			5.120[3]		4.208[4]
			100.000		100.000

N° 7. — Terre non colmatée à Saint-Martin-de-Crau, au Mas de Gouin.

Profondeur, 30 centimètres. Lot pierreux indéterminé.

Analyse chimique sur 100 de terre fine sèche.

Partie soluble dans les acides bouillants.	Acide phosphorique	0.053	12.178
	Potasse	0.491	
	Chaux	0.972	
	Magnésie	0.612	
	Alumine et oxyde de fer	10.050	
Insoluble. Silice et silicates calcinés			83.200
Eau des hydrates, matières organiques et substances non dosées.			4.622
			100.000

Azote p. 100, 0.1146.

1. Dont potasse, 1.65.
2. Dont potasse, 1.60.
3. Azote p. 100, 0.1575.
4. Azote, 0.1193.

N° 8. — Prairie du Vieux-Mazet, à Sulauze.

Type d'un colmatage très ancien du canal de Craponne, ayant formé une couche de 40 centimètres au-dessus du sol primitif de la Crau. Terre gris foncé sans pierres. Échantillon représentant cette tranche entière de 40 centimètres.

Analyse physico-chimique sur 100 de terre.

Humidité			4.45
Gros sable	43.33	Siliceux	30.70
		Calcaire	9.33
		Débris organiques	3.30
Impalpable	52.22	Siliceux	29.40
		Calcaire	11.97
		Argile	10.25
		Humus	0.60
			100.00

Analyse chimique sur 100 de terre sèche.

Partie soluble dans les acides bouillants.	Acide phosphorique	0.197	29.228
	Acide sulfurique	0.153	
	Potasse	0.341	
	Soude	0.083	
	Chaux	12.000	
	Magnésie	0.854	
	Oxyde de fer et alumine	5.400	
	Acide carbonique	10.200	
Insoluble calciné attaqué par l'acide fluorhydrique.	Potasse	1.322	59.340
	Soude	0.481	
	Chaux	0.163	
	Magnésie	0.361	
	Alumine (traces de fer)	8.025	
	Silice par différence	48.988	
Eau des hydrates, matières organiques et substances non dosées.			11.432
			100.000

Azote p. 100 de terre sèche, 0.377.

II. — CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DES EAUX ET DES LIMONS DE LA DURANCE.

De tous les cours d'eau de France, la Durance est celui dont les eaux ont été le mieux et le plus complètement utilisées pour les irrigations. Le volume d'eau débité par la rivière à l'étiage d'été est en effet complètement absorbé par les canaux qui parcourent les Bouches-du-Rhône et Vaucluse, canaux insuffisants désormais pour alimenter de nouvelles surfaces irrigables et dont on ne pourra augmenter le débit qu'en surélevant le niveau des basses eaux de la Durance, dont une partie importante disparaît l'été dans les graviers[1]. Barral a magistralement tracé l'histoire de ces canaux, particulièrement de ceux de Craponne et des Alpines, qui irriguent la moitié de la Crau. Nous avons seulement pour but d'apporter ici une contribution nouvelle à la connaissance encore imparfaite des eaux et des limons de cette rivière, successivement étudiés par Hervé Mangon, Barral, Paul de Gasparin.

Il est nécessaire de rappeler sommairement les travaux importants que ces auteurs ont publiés :

Ceux d'Hervé Mangon, exécutés en 1860[2], ont accumulé des données exactes sur les volumes d'eau des arrosages d'été du Midi, le mode d'action de ces eaux comparé aux arrosages à grands et permanents débits du Nord. Les conclusions d'Hervé Mangon, déduites de la masse considérable des documents analytiques qu'il a réunis, prouvent que les eaux employées aux irrigations, dans le Midi, n'agissent que faiblement par leurs apports fertilisants, qu'elles ont pour but de maintenir l'humidité des sols, de favoriser les oxydations, tandis que les prairies irriguées du Nord trouvent au contraire

1. D'après Barral, on peut admettre comme étiage habituel d'été et d'automne au pont de Mirabeau le chiffre de 72 mètres cubes par seconde. Les concessions des canaux de Vaucluse absorbent $27^{mc},750$, celles des canaux des Bouches-du-Rhône absorbent $54^{mc},450$; ensemble, $82^{mc},200$. Les volumes concédés dépassent donc la moyenne de l'étiage, surtout si on ajoute les 10 mètres cubes que l'administration a prescrit de laisser couler librement dans le lit de la rivière. (*Rapport de 1875*, p. 253.)

2. *Expériences sur l'emploi des eaux d'irrigation*. Dunod, 1869.

dans les volumes d'eau considérables employés des ressources fertilisantes suffisantes pour l'alimentation des récoltes. En effet, les irrigations du Midi ne dispensent pas des fumures ; elles permettent seulement leur utilisation, qui serait impossible dans des sols secs. Ces conclusions d'Hervé Mangon sont justes et son travail restera un modèle pour toutes les études destinées à éclairer ce côté de la question. Mais à l'époque où cet auteur a entrepris ses expériences, les méthodes de dosage de plusieurs corps utiles laissaient à désirer : l'acide phosphorique, la potasse, n'ont pas été déterminés ni dans les eaux, ni dans les limons analysés ; seules les quantités d'azote figurent dans ces documents. Pour les eaux, l'acide nitrique et l'ammoniaque paraissent présenter des valeurs bien élevées, si on les compare aux données acquises depuis sur d'autres cours d'eau.

Barral a analysé l'eau de la Durance prise au pont de Cadenet[1]. Par suite sans doute d'erreurs de transcription, le savant analyste a donné des chiffres tellement élevés pour la potasse et surtout pour l'acide phosphorique, qu'on ne peut croire à leur exactitude. Joulie, dans son *Traité de la production fourragère,* a déjà attiré l'attention sur l'élévation de ces nombres, en montrant combien ils dépassaient toutes les données analogues obtenues jusqu'à présent[2].

Paul de Gasparin a publié la composition moyenne des eaux de la Durance résultant des analyses qu'il a faites de plusieurs dérivations souterraines de cette rivière, ainsi que de l'analyse de l'eau prise dans le lit du Rhône, sur la rive gauche du fleuve, peu après sa réunion avec la Durance. Il a caractérisé avec beaucoup d'exactitude la nature chimique de ces eaux et il a donné des chiffres précis pour les apports d'acide phosphorique et de potasse qu'elles peuvent fournir. L'azote ammoniacal et nitrique manquent dans ses déterminations.

Cet éminent agronome a publié également deux analyses de limons de la Durance pris, l'un à Capit-Ville-Laure (Vaucluse), l'autre sur les berges du canal des Alpines, analyses rapportées par Barral avec celles des eaux de la Durance et complétées par des appréciations très nettes sur le peu de valeur fertilisante de ces limons, aux-

1. *Rapports sur les irrigations,* 1875, p. 266 ; 1876, p. 176.
2. Joulie, volume cité, p. 162.

quels manqueraient la potasse, les matières organiques et surtout l'acide phosphorique.

Pour justifier cette déduction, Paul de Gasparin signale les admirables cultures de la rive gauche de la Durance, entre Avignon et Pertuis, qui ne sont obtenues qu'à force de façons et par l'emploi de tourteaux de graines oléagineuses, dont cette région est le plus grand consommateur[1].

On ne peut mettre en doute la précision des déterminations du célèbre agronome, auquel on doit les méthodes d'analyse des terres arables et qui a été l'initiateur véritable de tous les travaux qui se rapportent à ces questions. Cependant son opinion si arrêtée est faite pour surprendre, car l'emploi des tourteaux, pauvres en potasse et en acide phosphorique, ne suffirait pas pour expliquer la fertilité des bords de la Durance, si les limons dont ces terres sont formées étaient à ce point dépourvus de ces éléments primordiaux.

Il faut admettre que la Durance, avec son cours torrentiel, présente dans la nature chimique de ses alluvions des différences peut-être très considérables, expliquant des teneurs parfois très faibles en principes utiles. Les bassins géologiques divers qu'elle parcourt, la dégradation de certains massifs ravinés et infertiles, dont les produits peuvent accidentellement dominer dans les crues, rendraient compte de telles différences. Mais en général les limons qu'elle charrie sont loin d'être infertiles, et tous ceux que nous avons recueillis jusqu'ici, soit sur les berges des canaux, soit dans l'eau même de la rivière, ont montré, au contraire, une teneur élevée en potasse, un taux moyen en acide phosphorique. Seules les matières organiques font à peu près défaut, comme l'a dit M. de Gasparin, et leur absence, jointe aux propriétés physiques de ces limons, suffit amplement à expliquer leur infertilité à peu près complète pendant les premières années de leur dépôt, tandis que, par des façons multipliées et l'apport de substances organiques, on en constitue des sols éminemment fertiles.

Les quelques observations qui précèdent démontrent la nécessité d'une revision des matériaux analytiques que nous possédons sur la

---

1. Barral, *Rapport sur les irrigations dans les Bouches-du-Rhône,* 1875, p. 263 et suivantes, et aussi *Rapport de 1876,* p. 176.

Durance et ses limons. Il n'entre pas dans notre pensée de dire que le travail que nous présentons aujourd'hui suffit à résoudre les questions douteuses, C'est une simple contribution et assurément fort incomplète. Les analyses d'eau que l'on trouvera plus loin se rapportent, en effet, en plus grande partie à la période d'hiver, pendant laquelle les arrosages sont suspendus. Les échantillons recueillis une fois par mois, à une date fixe, peuvent ne représenter que d'une manière imparfaite la moyenne composition des eaux de la rivière. Il en est de même pour les limons, que nous avons pris au hasard, dans les eaux lorsque les échantillons reçus renfermaient assez de vase pour permettre l'analyse, sur les berges des canaux, avec le seul soin de recueillir la couche qui semblait constituer le dépôt d'une année entière. Dans la suite de la mission qui nous a été confiée par la bienveillance de M. le Ministre de l'agriculture, nous espérons compléter ce travail, tant pour les eaux de la Durance, que nous continuerons à analyser mensuellement jusqu'au mois d'octobre prochain, que pour les limons, dont nous aurons l'occasion de prélever des échantillons variés, dont quelques-uns appartenant, s'il se peut, à des crues dont l'origine sera bien déterminée.

Je dois l'envoi régulier des échantillons d'eau de la Durance à M. Mistral, directeur du canal de Craponne, sur la démarche obligeante de M. de Montricher, l'un des propriétaires et administrateur dudit canal.

Caractères de l'eau de la Durance.

« La caractéristique des eaux de la Durance, a écrit Paul de Gasparin[1], est la présence des sulfates de chaux et de magnésie, ainsi qu'une petite quantité de sel marin, surabondamment expliquée par la constitution géologique du bassin qui contient des formations gypseuses très étendues. Néanmoins, la minéralisation n'est que de 62 centigrammes par litre, ce qui ne constitue pas une eau impropre aux usages domestiques. L'absence presque absolue de matières organiques est très remarquable, et j'ai pu conserver trois ans de l'eau dans une cuve sans la moindre odeur de putréfaction. »

---

1. Barral, *Rapport sur les irrigations*, 1875, p. 267.

Dans une comparaison faite de ces mêmes eaux avec les eaux de l'Isère, le même auteur dit encore : « Ces eaux sont également séléniteuses, calcaires, bicarbonatées, passablement magnésiennes, et contenant une proportion de soude qui n'est pas tout entière à l'état de chlorure. »

On peut ajouter que la proportion de chaux à l'état de sulfate dépasse souvent celle qui est à l'état de bicarbonate et qu'il semble exister une relation de quantité entre la teneur en sulfate et la teneur en chlorure ; fait naturel, car ces sels, qui s'accompagnent dans les gisements, doivent être entraînés ensemble. La magnésie paraît suivre aussi la même relation.

En ce qui intéresse les irrigations, les eaux de la Durance contiennent des quantités sensibles de potasse, mais très peu d'acide phosphorique.

L'acide nitrique n'existe qu'en faible proportion, moins de 1 milligramme par litre, et l'ammoniaque est représentée par des proportions plus faibles encore, moins de 2 dixièmes de milligramme. La présence des matières organiques en quantité sensible est exceptionnelle et par suite l'azote provenant de ce chef, négligeable. Un seul échantillon d'eau, celui du 15 janvier, nous a donné une teneur sensible en matières organiques, pouvant fournir $0^{gr},006$ d'ammoniaque albuminoïde pour 10 litres d'eau. Cet échantillon exceptionnel contenait des traces d'alumine et d'oxyde de fer, et une quantité trois à quatre fois plus élevée d'acide phosphorique que les cinq échantillons précédents.

Les réactions colorimétriques si sensibles de la diphénylamine pour l'acide nitrique, et du réactif de Nessler pour l'ammoniaque, nous ont confirmé les dosages minimes de ces composés azotés.

L'eau de la Durance sans concentration accuse, par le premier réactif, la réaction des nitrates, mais faiblement ; quant au réactif de Nessler, qui peut déceler aisément un quart et même un cinquième de milligramme d'ammoniaque par litre, il ne donne avec l'eau de la Durance aucune coloration.

Comme indication provisoire et simplement pour fixer les idées sur les quantités approchées d'éléments fertilisants amenés par les eaux de la Durance, il résulte des chiffres que nous avons obtenus

les moyennes suivantes par mètre cube, en négligeant l'azote organique :

Acide nitrique, 0gr,750, en azote. . .	0gr,194	Azote, 0gr,323
Ammoniaque, 0gr,150, en azote . . .	0 ,129	
Acide phosphorique		0 150
Potasse		3 000

Pour des arrosages consommant 1 litre par seconde, du 1er avril au 30 septembre, soit 15 811 mètres cubes par hectare, l'apport sur le sol correspond aux proportions suivantes :

Azoté.	5kg,107
Acide phosphorique	2 ,371
Potasse	37 ,433

Sauf pour la potasse, ces apports sont donc d'une importance extrêmement faible ; nous répétons toutefois ici que ces calculs résultent des analyses faites sur les eaux d'hiver et qu'ils seront sans doute sujets à modifications, lorsque nous aurons obtenu les résultats correspondant à la période d'été.

Analyse de l'eau de Durance prélevée le 17 août 1891.

(A) En Durance, à Gontard, en amont du canal de Craponne.
(B) A Lamanon, dans le canal de Craponne, branche d'Arles.
Absence de limon, la rivière était très claire.

Analyse sur 1 décalitre, résultats en grammes.

	A.		B.	
Résidu fixe à 110 degrés.	3,270		3,450	
Acide sulfurique.	0,955		0,960	
Chaux	0,883		0,897	
Magnésie	0,192		0,190	
Potasse.	0,049		0,050	
Soude	0,120	2,424	0,120	2,454
Acide phosphorique.	0,0013		0,0013	
Chlore	0,163		0,168	
Silice	0,053		0,060	
Acide nitrique	0,0062		0,0069	
Ammoniaque.	0,0015		0,0015	
Acide carbonique et substances non dosées, eau des hydrates, pertes, par différence. . . .		0,846		0,996
Total		3,270		3,450

Les chiffres très peu différents obtenus dans ces analyses nous ont déterminé, pour la suite du travail, à ne prendre qu'un seul échantillon, à Lamanon.

Eau de Durance prélevée à Lamanon le 15 octobre 1891 dans le canal de Craponne, branche d'Arles.

Analyse sur 1 décalitre, résultats en grammes.

Limon séché à 110 degrés			3,492
Titre hydrotimétrique			21°3
Résidu fixe à 110 degrés			2,920
Acide sulfurique	0,720		
Chaux	0,838		
Magnésie	0,188		
Potasse	0,027		
Acide phosphorique	0,0017	1,9822	
Chlore	0,129		
Silice	0,068		
Acide nitrique	0,0089		
Ammoniaque	0,0016		
Acide carbonique, hydrates, soude, corps non dosés et pertes		0,9378	
Total		2,9200	2,920

Eau de Durance prélevée à Lamanon le 15 novembre 1891 dans le canal de Craponne, branche d'Arles.

Analyse sur 1 décalitre, résultats en grammes.

Limon séché à 110 degrés			88,10
Titre hydrotimétrique			16°00
Résidu fixe à 110 degrés			2,170
Résidu au rouge			1,890
Acide sulfurique	0,430		
Chaux	0,716		
Magnésie	0,107		
Potasse	0,014		
Acide phosphorique	0,0016	1,3792	
Chlore	0,041		
Silice	0,062		
Acide nitrique	0,0059		
Ammoniaque	0,0017		
Acide carbonique, hydrates, soude et corps non dosés		0,7908	
Total		2,1700	2,170

Eau de Durance prélevée à Lamanon le 15 décembre 1891 dans le canal de Craponne, branche d'Arles.

Analyse sur 1 décalitre, résultats en grammes.

Limon séché à 110 degrés			1,312
Titre hydrotimétrique			22°5
Résidu fixe à 110 degrés			3,430
Résidu fixe au rouge			2,920
Acide sulfurique	0,717		
Chaux	0,904		
Magnésie	0,159		
Potasse	0,020		
Acide phosphorique	0,002	2,037	
Chlore	0,160		
Silice	0,065		
Acide nitrique	0,0085		
Ammoniaque	0,0015		
Acide carbonique, eau des hydrates, soude, corps non dosés et pertes		1,393	
Total		3,430	3,430

Eau de Durance prise à Lamanon le 15 janvier 1892 dans le canal de Craponne, branche d'Arles.

Analyse sur 1 décalitre, résultats en grammes.

Limon séché à 110 degrés			10,82
Titre hydrotimétrique			20°5
Résidu fixe à 110 degrés			2,760
Résidu au rouge			2,320
Acide sulfurique	0,520		
Chaux	0,840		
Magnésie	0,165		
Potasse	0,026		
Soude	0,127		
Acide phosphorique	0,007	1,9116	
Chlore	0,107		
Silice	0,102		
Acide nitrique	0,0096		
Ammoniaque	0,002		
Ammoniaque albuminoïde	0,006		
Peroxyde de fer et d'alumine, matières organiques		Traces	
Acide carbonique, eau des hydrates, substances non dosées et pertes		0,8484	
Total		2,7600	2,760

Nature des limons de la Durance.

La série presque complète des étages géologiques se trouve représentée dans le bassin étendu de la Durance, depuis les schistes cristallins du Pelvoux jusqu'au tertiaire de Manosque et d'Apt. Les massifs supérieurs, outre celui du Pelvoux, sont constitués par les euphotides et les serpentines du Mont-Genèvre, par le silurien qu'elles traversent en masses éruptives, par le carbonifère, le permien, le trias et le lias. Au-dessous du niveau de Gap, la Durance ne reçoit plus que des affluents issus ou traversant les massifs jurassiques, crétacés ou tertiaires.

Ayant une telle variété d'origines, les limons de la Durance présentent nécessairement des différences de composition. A côté des sables quartzeux, à éléments feldspathiques et micacés, on y trouve des argiles plus ou moins ferrugineuses et une grande quantité de calcaire. La proportion de ce dernier corps peut nous renseigner, dans une certaine mesure, sur l'étendue des variations de composition que subissent ces limons. Dans les 17 échantillons analysés par Hervé Mangon en 1859-1860, le taux du carbonate de chaux a varié depuis 34.82 jusqu'à 48.12 p. 100, Barral a dosé 31.43 de calcaire dans un limon emprunté au canal de Marseille. Ces essais sont trop peu nombreux toutefois pour mesurer les limites extrêmes de ces variations.

La teinte gris foncé est la plus ordinaire pour les limons de la Durance. Elle est due en grande partie aux marnes jurassiques friables qui occupent une portion étendue du bassin. Lorsque des orages sévissent sur les terrains tertiaires des environs d'Apt, notamment à Rustrel, à Roussillon (éocène inférieur) où existent des minerais de fer, des sables ferrugineux dont la couleur a déterminé le nom du pays, le Caulon se colore en rouge. A Gargas, dans cette même région, les ocres qui sont exploitées donnent au même affluent de la Durance une teinte jaune, tandis que plus haut, la Doua, qui se jette dans le Caulon et qui est bordée de terrains lacustres (éocène supérieur), fournit des limons de teintes blanchâtres. Les riverains de la Durance et les usagers des canaux distinguent ces nuances des crues. Ils attribuent à l'oxyde de fer des limons rouges et jaunes une action nuisible et évitent de se servir des eaux qui les charrient. Les teintes

grises et blanchâtres, au contraire, sont recherchées comme ayant la vertu d'amender les terres. Ce sont surtout les affluents de la basse Durance, tels que le Caulon, l'un des plus importants, qui amènent ces colorations. Dans le cours moyen et supérieur, les limons paraissent ne pas présenter ces alternatives de couleur, d'ailleurs exceptionnelles et de courte durée. Chaque crue amène des atterrissements antérieurs de la rivière avec les limons de formation récente, arrachés aux pentes ravinées, de telle sorte que, malgré cette variété des origines, les limons représentent toujours à un certain degré les matériaux empruntés au bassin tout entier.

Au point de vue physique, les limons sont composés de peu de sable et de beaucoup d'éléments fins. On a vu que le calcaire en formait une part considérable, atteignant parfois 50 p. 100 et toujours au moins 30 p. 100. Paul de Gasparin a trouvé dans le limon de Capit-Ville-Laure 72.30 p. 100 d'impalpable, et dans le limon du canal des Alpines, 49.50. Par la méthode de Schlœsing, nous avons trouvé dans l'échantillon de limon provenant de l'eau de la Durance du 15 novembre 1891, 89.48 p. 100 d'éléments impalpables, parmi lesquels 14 p. 100 d'argile coagulable. Mais il est évident que des variations constantes ont lieu pour ce lot d'impalpable, dont la proportion dépend de l'intensité du courant de la Durance capable de charrier des éléments plus ou moins sableux.

On peut dire toutefois que les sols qui sont formés par les limons de la Durance répondent à la catégorie des terres tenaces, immobiles et continues de la classification créée par Paul de Gasparin, car la proportion de sable, telle qu'on l'obtient dans sa méthode d'analyse, est comprise entre 30 et 50 p. 100, et le lot calcaire reste dans les mêmes limites extrêmes.

Au terme le plus habituel, les limons de la Durance forment des sols argilo-calcaires forts, craignant à la fois les excès d'eau et de sécheresse. Pendant les premières années de leur dépôt, ces limons sont absolument infertiles. Bien plus, les terres cultivables sur lesquelles le limon se dépose en couche d'épaisseur sensible sont stérilisées par cet apport. Le limon se dessèche et forme des croûtes d'une ténacité extrême, qui brisent les tissus des plantes. Ce sont là des défauts physiques tenant à la finesse des éléments et à la pro-

portion élevée d'argile, ainsi qu'à l'absence des matières organiques, comme l'a dit Paul de Gasparin. L'humus est nécessaire pour amener le limon à l'état de terre cultivable ; telle est la raison des fumures organiques abondantes si nécessaires dans la vallée de la Durance ; elles seules peuvent fournir à ce sédiment presque purement minéral la propriété de garder l'humidité et de devenir perméable à l'eau.

On trouvera plus loin l'analyse de quatre échantillons de limons de la Durance, dont deux récoltés dans l'eau même de la rivière et deux pris sur les berges du canal de Craponne. Ces analyses sont assez concordantes comme teneur en éléments fertilisants et elles ne semblent pas faire prévoir des variations très étendues, étant surtout donné que le lot calcaire montre au contraire des écarts assez marqués. Toutefois, ce n'est qu'avec un grand nombre de documents semblables qu'il sera possible de se faire une opinion motivée sur la richesse de ces limons.

Ce n'est donc qu'à titre tout à fait provisoire, avec plus de réserves encore que pour les eaux, que nous présenterons, d'après ces premiers résultats, un calcul approximatif des apports fertilisants que les limons peuvent réaliser sur les sols irrigués, en prenant pour la masse des limons charriés la moyenne admise par Barral[1].

La moyenne de nos analyses donne :

Pour la teneur[2] en azote de 1 kilogr. de limon sec le chiffre de	$0^{gr},800$
Pour la potasse	2 ,900
Pour l'acide phosphorique	1 ,050

A raison d'un litre par seconde pendant la période des arrosages du 1er avril au 30 septembre, c'est-à-dire pour un apport de 15 811 mètres cubes d'eau, et une quantité de limon s'élevant à $1^{kg},300$ par mètre cube, la masse de limon charriée sur un hectare s'élève à 20 554 kilogr. Ce poids, multiplié par les chiffres adoptés ci-dessus, donne :

En azote.	$16^{kg},443$
En potasse	59 ,606
En acide phosphorique	21 ,581

1. *Rapport de 1876*, p. 177.

2. Hervé Mangon, en analysant 17 échantillons de limons de la Durance, a trouvé depuis 0.071 jusqu'à 0.128 p. 100 d'azote.

Si on ajoute à ces chiffres ceux qui ont été calculés plus haut pour les apports réalisés par l'eau de la Durance, on obtient, pour l'ensemble des apports dus à l'eau et aux limons, les approximations suivantes :

En azote	21kg,550
En potasse	107 ,039
En acide phosphorique.	23 ,952

Analyse d'un limon de Durance recueilli dans l'échantillon d'eau du canal de Craponne pris à Lamanon le 15 novembre 1891.

Limon de crue, de couleur grise ; quantité, 8kg,810 par mètre cube d'eau.

Analyse physico-chimique sur 100 de limon.

Gros sable . .	9.72	Siliceux.	5.03
		Calcaire.	4.34
		Débris organiques.	0.35
Impalpable . .	90.28	Siliceux.	37.04
		Calcaire.	38.44
		Argile.	14.00
		Humus	0.00
		Humidité	0.80
			100.00

Analyse chimique sur 100 de limon sec.

Partie soluble dans les acides bouillants.	Acide phosphorique.	0.102	30.959
	Acide sulfurique	Traces	
	Potasse	0.260	
	Chaux.	23.750	
	Magnésie.	0.833	
	Oxyde de fer	3.570	
	Oxyde de manganèse	0.014	
	Alumine	2.430	
Insoluble calciné attaqué par l'acide fluorhydrique.	Potasse	1.173	45.375
	Magnésie.	1.363	
	Chaux	0.136	
	Alumine (traces de fer) . . .	8.450	
	Silice et corps non dosés . . .	34.253	
Acide carbonique, eau des hydrates, matières organiques et substances non dosées			23.666
			100.000

Azote p. 100, 0.073.

Analyse chimique d'un limon de Durance recueilli dans l'échantillon d'eau du canal de Craponne pris à Lamanon le 15 janvier 1892.

Limon de couleur grise. Quantité dans 1 mètre cube d'eau, $1^{kg},082$.

Sur 100 de limon sec.

Partie soluble dans les acides bouillants.	Acide phosphorique	0.108	27.643
	Potasse	0.252	
	Soude	0.074	
	Chaux	20.905	
	Magnésie	0.989	
	Oxyde de fer et alumine	5.315	
Insoluble calciné (renfermant potasse, 1.32)			49.375
Acide carbonique, eau des hydrates, matières organiques et substances non dosées			22.982
			100.000

Azote p. 100, 0.075.

Limon de Durance provenant du curage du canal de Craponne, branche d'Istres, recueilli à Sulauze, en mars 1891.

Analyse chimique sur 100 de limon sec.

Partie soluble dans les acides bouillants.	Acide phosphorique	0.109	29.058
	Acide sulfurique	Traces	
	Potasse	0.353	
	Soude	0.076	
	Chaux	23.120	
	Magnésie	1.150	
	Oxyde de fer et alumine	4.250	
Insoluble calciné attaqué par l'acide fluorhydrique.	Potasse	1.247	45.775
	Soude	0.367	
	Magnésie	0.332	
	Chaux	0.125	
	Alumine (traces de fer)	6.800	
	Silice par différence	36.904	
Acide carbonique, eau des hydrates, matières organiques et substances non dosées			25.167
			100.000

Azote p. 100, 0.0868.

Limon de Durance pris sur les berges du canal de Craponne, branche d'Arles, à Saint-Martin-de-Crau.

Analyse chimique sur 100 de limon sec.

Partie soluble dans les acides bouillants.	Acide phosphorique	0.104	26.830
	Acide sulfurique	Traces	
	Potasse	0.312	
	Soude	0.080	
	Chaux	20.777	
	Magnésie	0.940	
	Oxyde de fer et alumine	4.600	
	Oxyde de manganèse	0.017	
Insoluble calciné (renfermant potasse, 1.29)			50.124
Acide carbonique, eau des hydrates, matières organiques et substances non dosées			23.046
			100.000

Azote p. 100, 0.090.

Statistique des prairies de Crau irriguées.

D'après les tables de Wolff, 8000 kilogr. de foin de prairies, séché à l'air, contiennent les proportions suivantes d'éléments fertilisants :

Azote	124 kilogr.
Acide phosphorique	33 —
Chaux	76 —
Potasse	128 —
Acide sulfurique	25 —

Barral[1], en analysant les fourrages de deux prairies de Crau, a fourni des résultats dont nous avons tiré les évaluations suivantes pour une récolte de 8 000 kilogr. de foin également :

	PRAIRIE de Coromandel à Istres.	MAS de Verry-Entressen.
	kilogr.	kilogr.
Azote	152	142
Acide phosphorique	33	26
Acide sulfurique	»	33
Chaux	96	70
Potasse	149	120

1. Barral, *Rapport sur les irrigations*, 1875, p. 470 ; 1876, p. 230.

Parmi ces éléments, on peut considérer que la potasse est abondamment fournie en Crau par le sol, les eaux et les limons de la Durance.

La chaux et l'acide sulfurique manquent dans les terres, mais sont apportés également en abondance par les eaux de la Durance et les limons. Néanmoins, le plâtrage donne de bons résultats en Crau et doit être conseillé, surtout sur les prairies nouvellement créées.

L'azote et l'acide phosphorique manquent dans les terres ; l'eau n'en apporte que des quantités faibles. Les limons constituent un apport plus important d'acide phosphorique et d'azote, mais on ne saurait considérer les quantités qu'ils fournissent comme rapidement assimilables.

Tout concourt donc à montrer que ces deux engrais doivent être ajoutés abondamment aux terres de Crau.

A titre de comparaison, je transcris ci-après une analyse d'un limon du Rhône pris dans la roubine de submersion du Mas-de-la-Ville, dans le petit plan du Bourg (Camargue), limon représentant le curage de juillet 1891.

L'analogie de composition de ce limon avec ceux de Durance est assez complète pour qu'on puisse penser que ce sédiment a été apporté en partie par une crue de Durance. La différence la plus marquée est pour la magnésie, moins abondante que dans les limons de Durance.

Analyse chimique sur 100 de limon sec.

Partie soluble dans les acides bouillants.	Acide phosphorique	0.118	31.162
	Acide sulfurique	Traces	
	Potasse	0.396	
	Chaux	23.050	
	Magnésie	0.358	
	Oxyde de fer et alumine	7.240	
Insoluble calciné attaqué par l'acide fluorhydrique.	Potasse	1.341	45.300
	Soude	0.328	
	Magnésie	0.260	
	Chaux	0.200	
	Alumine avec traces de fer	6.477	
	Silice par différence	36.694	
Acide carbonique, eau des hydrates, matières organiques et corps non dosés			23.538
			100.000

Azote p. 100 de limon sec, 0.0793.

Annexe n° 1. — Composition botanique des prairies naturelles du Coussou (Pâtis).

Le pâturage nature de Crau se compose, d'après Castagne[1], des plantes suivantes :

4/20. *Triticum cæspitosum* (*lou groussié* en provençal). Graminée excellente pour les troupeaux, vivace, de contexture sèche, qui se ramifie comme un arbuste.

4/20. *Asphodelus fistulosus* (*Pourraco*, prov.). Les bêtes à laine broutent les extrémités quand les autres herbes manquent.

3/20. *Thymus vulgaris* (*Farigoule*, prov.). *Lavandula spica* (*Espi*) et quelques autres labiées dont les troupeaux se nourrissent volontiers.

3/20. Composées diverses. La division des Liguliflores est la plus abondante : *Picridium vulgare, Barkausia recognita, Pterotheca nemausensis*, toutes très recherchées par les brebis. Ces plantes, poussant en Crau, ont plus de substance sèche que celles qui sont cultivées.

2/20. Légumineuses : *Medicago* et *Trifolium*, que les troupeaux mangent volontiers.

2/20. Graminées, parmi lesquelles abondent : *Avena pratensis*, ressemblant à la variété de Naples ; *Bromus festuca* et souvent *Lolium perenne* (*Margau*).

2/20. Végétaux divers.

Voici, d'autre part, une liste des plantes les plus répandues en Crau et rangées par familles :

Crucifères : *Alyssum maritimum* (prov. *Bramofam*) ; *Iberis pinnata ; Lepidium Iberis*.

Cistinées : *Cistus albidus* (*Massago*), bords de Crau ; *Cistus monspeliensis*.

Malvacées : *Malva parviflora ; Althæa officinalis* (coustière de Crau).

Légumineuses : *Medicago lupulina ; M. orbicularis* (*Erbo de la rodo*) ; *M. falcata* (*Lente*) ; *M. denticulata, M. littoralis ; M. minima ; M. Gerardi ; Trigonella monspeliaca*.

Composées : *Helychysum Stacchas* (*Laureto-immortello féro*) ; *Santolina incana* (*Farigoulo féro*) [gros encens] ; *Centaurea solstitialis* (*Auruelo*).

---

1. Aperçu sur la *Flore de la Crau*, par Castagne (Remondet, Aix, 1872).

Labiées : *Hyssopus officinalis* (*Isopo mariarmo*); *Thymus vulgaris* (*Farigoulo*), très abondant.

Amentacées[1] : *Celtis australis* (*micocoulico*) [*Falabreguié*], bords de la Crau; *Ulmus campestris* (*Oume*), bords de Crau; *Salix cinerea*, bords humides de Crau; *S. monandra*, bords humides de Crau; *S. alba* (*Sauze*), bords humides de Crau; *Populus alba* (*Aubo*), bords humides de Crau; *P. nigra* (*Piboulo*), bords humides de Crau; *Quercus ilex* (chêne yeuse) [*Euve-euse*]; *Q. coccifera* (kermès) [*Avausse*], bords de Crau.

Graminées : *Andropogon ischæmon* (*Brusti*); *Cynopodon dactylum* (*Gràme*); *Agrostis decumbens*, Crau, lieux humides; *Panicum glaucum*; *P. viride* (*Panisso*); *Bromus sterilis* (*Bauco*; *Estranglo chivo*; *Micrasiro*); *Chamagrostis minima*; *Hordeum murinum* (*Estranglo besti*).

Dans cette liste, les plantes qui ne sont pas signalées comme occupant certaines stations spéciales : bords de Crau, lieux humides, coustières, appartiennent au coussou. Les noms communs sont les désignations provençales. — Dans son opuscule, Castagne a donné une liste beaucoup plus complète; nous nous sommes borné à mentionner les plantes les plus répandues et qui caractérisent plus spécialement les herbages de la Crau.

Annexe n° 2. — Note sommaire sur les méthodes d'analyse employées pour les terres et pour les eaux.

1° *Terres.*

Analyse mécanique. — Avec le tamis de 10 fils par centimètre.

Analyse physico-chimique. — Par la méthode Schlœsing sur 10 gr. de terre, en séparant l'argile par deux ou même trois décantations, après chaque fois vingt-quatre heures de repos et en employant deux litres d'eau pour mettre en suspension l'argile. La troisième décantation, quand elle a été nécessaire, n'a été faite qu'avec un litre.

Analyse chimique. — Attaque pour le dosage de l'acide phosphorique.

1. En bordure de la Crau ou formant rideaux autour des mas.

Dans les conditions indiquées par Risler, avec acide nitrique à chaud, agissant sur la terre fine non porphyrisée et légèrement calcinée au préalable, pour détruire les matières organiques. Quantité d'acide employée égale en centimètres cubes au poids de terre pris pour l'essai, non compris l'acide nécessaire pour la saturation du calcaire. La silice a été séparée par dessiccation au bain-marie ou au bain d'air et affusion brusque d'eau froide dans le résidu repris par l'acide.

La séparation de l'acide phosphorique par un excès de molybdate acide d'ammoniaque. Le dosage par pesée du pyrophosphate de magnésie, après transformation du phosphomolybdate en phosphate ammoniaco-magnésien.

Pour quelques échantillons, on a dosé aussi l'acide phosphorique en précipitant par l'ammoniaque l'alumine et l'oxyde de fer, lavant rapidement à l'eau ammoniacale bouillante et redissolvant dans l'acide nitrique. Ce mode de séparation a permis d'éliminer les sels de chaux qui, lorsqu'ils existent en grande abondance, rendent difficile l'insolubilisation de la silice. Les résultats obtenus se confondent avec le procédé ordinairement suivi, même lorsqu'on opère sur une attaque faite avec l'eau régale.

Attaque pour le dosage de la potasse :

Sur la terre légèrement calcinée, mais non porphyrisée, en employant l'eau régale. Séparation de la silice comme ci-dessus. Dans la liqueur on a dosé l'oxyde de fer et l'alumine. La chaux, en ne prenant qu'une partie de la liqueur dans le cas de terres très calcaires, et précipitant par l'acide oxalique en liqueur ammoniacale.

On a concentré la liqueur, ajouté un peu d'acide sulfurique, pour transformer les alcalis et la magnésie en sulfates. La masse des sels ammoniacaux a été chassée par la chaleur au bain de sable. Après calcination très modérée, mise en liberté des alcalis par un excès de baryte. Transformation de l'excès de baryte en carbonate par l'acide carbonique et chauffe pour détruire le bicarbonate.

On a dosé la potasse par l'acide perchlorique en transformant préalablement les carbonates alcalins en nitrates.

Quand la soude a été dosée, on a transformé les carbonates alca-

lins en chlorures, pesé les chlorures et transformé le chlorure de potassium en chloroplatinate.

La potasse assimilable a été dosée par le procédé Schlœsing.

La potasse du résidu insoluble dans l'eau régale a été dosée par le procédé indiqué par Berthelot, en agissant sur 4 gr. du résidu insoluble calciné et porphyrisé au mortier d'agate, employant pour l'attaque 24 gr. de fluorhydrate d'ammoniaque pur, ne laissant sur le platine qu'un résidu insignifiant. Il nous a été très difficile de nous procurer un produit satisfaisant à cette condition. L'attaque a été faite en deux, rarement trois fois.

L'acide sulfurique a été dosé dans une attaque chlorhydrique de la terre. Pour les terres de Crau (coussous), on a employé aussi l'attaque nitrique qui n'a pas donné non plus de sulfates.

L'azote des terres a été dosé par la méthode de Kjeldahl, en employant l'oxyde de cuivre au lieu d'oxyde de mercure pour faciliter l'oxydation, et distillant avec de la soude en excès la liqueur acide, mais sans ajouter de zinc, pour éviter la formation d'ammoniaque aux dépens des nitrites que renferme la soude caustique.

Le fer a été dosé dans une attaque chlorhydrique sur la terre calcinée. On a réduit par le zinc et titré par le permanganate.

Le manganèse a été dosé dans une attaque nitrique de 20 gr. de terre au moyen de la méthode de Leclerc.

2° *Eaux.*

Pour les analyses d'eau on a suivi la méthode de P. de Gasparin, qui consiste essentiellement à séparer d'abord l'acide sulfurique avant de doser les autres éléments. Le chlore a été dosé par le procédé de Mohr, indicateur chromate de potasse et liqueur titrée d'argent, en opérant sur 2 litres d'eau concentrés à 150 centimètres cubes.

L'acide nitrique a été dosé par la méthode de Schlœsing sur 5 litres d'eau évaporée dans un ballon avec une pastille de potasse pure exempte de nitrate. On a utilisé la disposition de Schultze-Tiemann, plus commode pour de petites proportions de nitrate, en recueillant le bioxyde d'azote sur une lessive alcaline bouillie.

L'ammoniaque a été dosée par le procédé de Schlœsing en distillant 2 litres d'eau avec le serpentin à reflux en étain et recueillant dans l'acide oxalique titré au dixième normal. Indicateur tournesol d'orcine et liqueur alcaline, eau de chaux diluée.

L'acide oxalique employé dans les analyses pour le dosage et la séparation de la chaux a été préparé par la méthode de Lunge (cristallisations répétées dans des liqueurs chlorhydriques), car l'acide oxalique livré comme pur dans le commerce renferme des proportions notables de chaux et de potasse, et, dans les terres très calcaires, la quantité d'acide oxalique employée aurait faussé les résultats de la potasse.

La magnésie a été dosée dans les terres et dans les eaux à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien.

DEUXIÈME PARTIE

Pendant le cours de l'année 1892 et d'une partie de 1893, j'ai mis à profit le concours de la Société nouvelle du canal de Craponne (branche d'Arles). Des échantillons d'eau de Durance ont été recueillis le 15 de chaque mois, durant treize mois consécutifs, dans le bassin de partage des canaux de Craponne à Lamanon, et j'ai fait successivement l'analyse de ces eaux.

Les limons ont été récoltés de manière à constituer des échantillons moyens mensuels.

On a procédé de la manière suivante : chaque jour, à partir du 1er mai 1892, l'aiguadier du canal à Lamanon, M. Massie, a mesuré un volume de 30 litres d'eau limoneuse. Cette eau, versée dans de grandes jarres, a été abandonnée au repos. A la fin de chaque mois, l'eau limpide, surmontant le dépôt, a été siphonnée et la vase isolée a été introduite sans perte, avec l'eau nécessaire pour l'entraîner complè-

tement, dans une ou plusieurs bonbonnes qui m'ont été expédiées. Au laboratoire, le limon a été séparé sur une toile filtrante, tendue sur un châssis et préalablement tarée, puis il a été séché à l'air et à l'étuve, enfin pesé. Chacun de ces échantillons correspondant, suivant le nombre des jours du mois, à 900 ou 930 litres d'eau, il a été facile de calculer le poids de limon sec contenu dans un mètre cube d'eau limoneuse. Une feuille d'observations a été dressée en même temps par M. Massie, relatant pour chaque jour, au moment de la prise, la couleur de l'eau et sa température.

Toutes les fois que les eaux du canal de Craponne ont offert des troubles exceptionnels soit par leur abondance, soit par leur couleur anormale, il a été recueilli un échantillon d'eau de 140 à 280 litres, cela en plusieurs prises de 10 litres pendant la durée de la crue. Cette eau a été soumise à la décantation dans des jarres spéciales, afin de réunir une proportion de limon suffisante pour l'étude. Ces échantillons forment donc une série distincte de la précédente, et, comme le volume d'eau dont ils proviennent a été également mesuré avec soin, j'ai pu déterminer la proportion de limon charrié lors des troubles observés.

A ces deux séries, j'ai joint les échantillons moyens de limons recueillis pendant le curage des différentes dérivations des canaux de Craponne au printemps de 1892.

M. Hanché, ingénieur-directeur du canal de Marseille, a bien voulu faire prélever, d'autre part, une collection des limons déposés dans les différents bassins de décantation de cette importante dérivation de la Durance. J'ai pris moi-même dans un réservoir, alimenté par le canal de Marseille, un échantillon de vase provenant de plusieurs années.

Enfin, j'ai récolté dans la vallée de la Durance, à Meyrargues, deux échantillons de terres formées par les atterrissements récents de la rivière, terrains encore vierges dont l'exploitation agricole va seulement commencer.

Tels sont les matériaux de la présente étude. Je me suis efforcé de les réunir dans des conditions assez variées pour que les conclusions des analyses soient amplement justifiées.

Je dois signaler ici d'une manière particulière le concours dévoué

que m'a prêté M. l'ingénieur de Montricher pour réunir ces matériaux. La Société nouvelle de Graponne, dont il est le directeur, a été par ses obligeantes démarches intéressée à mes recherches. Je tiens à le remercier ici pour les soins avec lesquels les prises d'eau et de limons ont été effectuées, en conformité de mes instructions, pour la ponctualité avec laquelle les envois m'ont été faits en toute franchise.

I. — Sur les eaux de la Durance.

Le tableau I, annexé à ce mémoire, renferme treize analyses d'eau de la Durance qui s'ajoutent aux cinq déjà publiées dans mon premier rapport. Toutes les déterminations ont été réunies dans un seul tableau, afin d'en faire mieux saisir les variations. Les différents corps dosés sont mentionnés sans faire leur répartition sous forme de sels, répartition forcément arbitraire et qui rend pénible toute comparaison entre les analyses faites par différents auteurs.

Dans le tableau II, j'ai calculé, au contraire, sous forme de sels les résultats obtenus pour les corps les plus abondants ; j'ai introduit dans ce dernier tableau les cinq analyses publiées dans mon précédent mémoire. L'acide sulfurique a été attribué à la chaux, suivant la convention la plus habituelle ; le reste de la chaux et la magnésie ont été comptés en carbonates neutres. Le chlore a été uni au sodium, et l'excès de sodium, calculé à l'état de soude, figure dans une colonne spéciale. Les dosages d'acide nitrique, d'ammoniaque et d'ammoniaque albuminoïde ont été calculés en azote.

Le limon en suspension dans les eaux a été séparé par décantation, puis recueilli sur un filtre taré ; les quantités observées figurent au tableau I.

Cette série d'analyses confirme les conclusions énoncées dans mon rapport précédent en ce qui concerne les caractères chimiques des eaux de la Durance. La prédominance de sulfate calcique en est le point le plus frappant. Non seulement ce sel est le plus abondant en poids, mais encore la chaux qui lui correspond surpasse, le plus

souvent, la proportion de celle que les eaux renferment à l'état de bicarbonate. Les colonnes 1 à 4 du tableau II mettent ce fait en évidence. Les eaux de la Durance sont, en outre, nettement magnésiennes et chlorurées, ainsi que l'a fait remarquer Paul de Gasparin. Le sodium s'y trouve toujours en léger excès sur le chlore (colonne 7 du tableau II).

Les proportions de potasse sont très notables et à peu près constantes; celles d'acide phosphorique très faibles. Les quantités d'acide nitrique (l'acide nitreux n'a pas fait l'objet d'une détermination spéciale) n'offrent que de faibles variations en comparaison de celles que présentent l'ammoniaque et surtout l'ammoniaque albuminoïde. Les proportions de ces deux derniers corps sont très minimes en hiver.

La teneur des eaux en matières dissoutes ne montre pas, dans la série des mois observés, des caractères de régularité accusés. Des minima se sont produits en novembre 1891, janvier, juin et octobre 1892; les chiffres les plus faibles ont été observés en juin. Les teneurs maxima ont été constatées en août et décembre 1891, septembre 1892, janvier et février 1893; ces deux derniers mois ont accusé les chiffres les plus forts. D'une manière générale, les maxima en matières dissoutes correspondent aux périodes de bas étiage. Il faudrait embrasser une plus longue série d'années, discuter les circonstances météorologiques, connaître, par des observations sur le bassin entier de la Durance, l'apport variable des affluents de la rivière et la nature de leurs eaux, pour définir les causes de ces variations. On peut dire, cependant, que les eaux d'hiver sont, en général, plus chargées en sels que celles d'été.

La prédominance si marquée du sulfate de chaux implique une analogie de composition pour les eaux des différentes périodes. On remarque, en effet, que les teneurs en magnésie, chlore, soude, suivent d'assez près celles en acide sulfurique et en chaux. Les eaux de la Durance montrent donc, en toutes saisons, une grande uniformité de composition, tout en présentant une concentration saline qui varie environ du simple au double.

Dans le tableau II se trouvent calculées, pour un décalitre, les

moyennes teneurs des eaux de la Durance pendant les périodes d'été et d'hiver, ainsi qu'une moyenne générale portant sur tous les essais.

Le tableau III renferme ces moyennes par mètre cube d'eau, pour les substances fertilisantes seulement, moyennes dont on a déduit, dans ce même tableau, les apports réalisés par l'irrigation sur un hectare, en admettant le taux de 1 litre d'eau par seconde, du 1er au 30 septembre, c'est-à-dire l'emploi de 15 811 mètres cubes d'eau, moyenne admise par Barral et par MM. les ingénieurs du service de l'hydraulique. Cette proportion est souvent dépassée ; les prairies nouvelles de Crau consomment environ 1 litre et demi à 2 litres par seconde. Ce n'est qu'après un certain colmatage, qui réduit leur perméabilité, qu'elles arrivent à la consommation admise comme moyenne. On voit que dans ces conditions le rôle fertilisant des eaux est notable, quoiqu'il soit très loin de pouvoir dispenser de l'emploi des fumures. Nous ne rappellerons point, à cet égard, ce qui a été dit dans notre premier rapport, mais il importe de faire remarquer que les chiffres d'apports fertilisants qui résultent maintenant de nos essais, embrassant une période prolongée, apportent de grands changements dans la moyenne provisoirement admise pour l'azote.

D'après les cinq analyses faites en 1891, nous avions trouvé un apport de 5kg,350 d'azote par hectare. La moyenne d'hiver, avec les mois qui s'y sont ajoutés, arrive maintenant au chiffre de 8kg,500. Mais c'est la période d'été qu'il faut surtout considérer en ce qui a trait aux irrigations ; or la moyenne correspond pour cette période à 20 kilogr. d'azote, chiffre qui se rapproche des observations d'Hervé Mangon à l'échelle des Taillades, canal de Carpentras. Toutefois, les chiffres d'Hervé Mangon, qui montrent un apport de 25 kilogr. par hectare, ne comprennent point l'azote albuminoïde. Il en ressort que les déterminations faites par cet expérimentateur pour l'azote nitrique et ammoniacal sont élevées par rapport aux nôtres[1].

---

1. Cet apport de 25 kilogr. d'azote a été calculé pour le volume type de 15 811 mètres cubes d'eau d'arrosage, d'après les chiffres d'expériences publiés par Hervé

On remarquera que les proportions de potasse et d'acide phosphorique ne varient que dans des limites faibles ; les moyennes d'été et d'hiver sont pour ces corps d'une concordance complète. L'azote, au contraire, rare l'hiver, augmente beaucoup durant la période des arrosages. Ces variations proviennent presque exclusivement de l'ammoniaque et de l'ammoniaque albuminoïde, car le taux de l'acide nitrique reste stationnaire. Il se maintient même l'hiver à une limite légèrement supérieure, sans doute par suite du lessivage des terres sous l'influence des pluies. A quelle cause attribuer cette augmentation de l'azote ammoniacal et surtout albuminoïde, sinon au développement intense de la vie qui accompagne les périodes du printemps et de l'été ? Les poussières organisées qui se répandent dans l'atmosphère au moment de cette renaissance vitale doivent, pour une part, aboutir aux cours d'eaux à la faveur du ruissellement des pluies d'orages. Dans les eaux, la présence des matières organiques, l'action de la chaleur, exagèrent pareillement le développement de la vie. Telle est l'hypothèse qui nous paraît rendre compte de ces variations, qu'il serait intéressant de suivre attentivement. La statique de l'azote et particulièrement celle de l'azote ammoniacal et organique exigerait évidemment, pour être fixée avec précision, des analyses beaucoup plus multipliées que celles mensuelles et portant sur l'échantillon d'un seul jour du mois.

Nous reproduisons ci-après, d'après les renseignements qui nous ont été obligeamment communiqués par le Service des ponts et chaussées, la hauteur d'eau en Durance, au pont de Mirabeau, aux dates des prises d'échantillons qui correspondent à nos analyses.

Mangon à l'égard de la prairie des Taillades (*Expériences sur les irrigations*, p. 78). En soumettant au même calcul les expériences de cet auteur sur la luzerne des Taillades (p. 88), sur le champ de haricots des Taillades (p. 94), on trouve respectivement des apports d'azote correspondant à $24^{kg},22$ et 28 kilogr. Ces variations résultent des époques d'arrosages. La prairie et la luzerne ont reçu les irrigations de juin à septembre, le champ de haricots en juin et juillet.

Rivière de la Durance.

	DATES des prises d'échantillon d'eau.	HAUTEUR de l'étiage au pont de Mirabeau. (Échelle de la Madeleine.)	VOLUME d'eau par seconde.
		mètres	mètres cubes
1891	15 août. . . .	0,44	78.60
	15 octobre. . .	0,94	134,70
	15 novembre. .	2.22	377,40
	15 décembre. .	0,86	117,25
1892	15 janvier. . .	1,32	172,30
	15 février. . .	0,66	97,65
	15 mars . . .	0,88	176,50
	15 avril. . . .	1,33	234,90
	15 mai	1,55	269,20
	15 juin. . . .	1,55	269.20
	15 juillet . . .	0,58	143,60
	15 août. . . .	0,45	130,20
	15 septembre. .	0,30	69,10
	15 octobre. . .	2,37	472,60
	15 novembre. .	1,59	271,60
	15 décembre. .	0,78	127,70
1893	15 janvier. . .	0,50	83,50
	15 février. . .	0,42	75,90

Tableau I. — Analyse chimique des eaux de la Durance recueillie à Lamanon, dans le bassin de division des canaux de Craponne, pendant l'année 1892 et partie de l'année 1893.

(Par décalitre d'eau, résultats en grammes.)

DÉSIGNATION.	1892.											1893.	
	15 février.	15 mars.	15 avril.	15 mai.	15 juin.	15 juillet.	15 août.	15 septembre.	15 octobre.	15 novembre.	15 décembre.	15 janvier.	15 février.
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Limon séché à 110°	0,332	2,210	3,010	6,945	36,512	3,612	1,540	0,952	143,800	4,940	0,480	0,000	0,000
Extrait séché à 110°	3,280	3,250	2,670	2,620	1,940	2,570	3,230	3,440	2,510	2,850	3,550	4,030	4,130
Extrait calciné	2,750	2,850	2,670	2,080	1,670	2,130	2,450	2,870	2,040	2,450	3,100	3,530	3,530
Déterminations.													
Acide sulfurique (anhydre)	0,761	0,652	0,559	0,572	0,417	0,648	0,842	0,955	0,563	0,634	0,810	0,987	1,054
Chaux	0,963	0,994	0,805	0,783	0,660	0,750	0,841	0,932	0,805	0,768	1,013	1,092	1,145
Magnésie	0,201	0,182	0,146	0,106	0,064	0,091	0,169	0,153	0,124	0,115	0,107	0,129	0,134
Potasse	0,018	0,025	0,017	0,021	0,020	0,021	0,022	0,021	0,018	0,018	0,021	0,019	0,026
Soude	0,180	0,188	0,140	0,117	0,083	0,124	0,155	0,170	0,138	0,185	0,191	0,222	0,210
Acide phosphorique	0,004	0,002	0,001	0,004	0,0038	0,0017	0,004	0,004	0,0025	0,0038	0,0032	0,0022	0,0019
Chlore	0,203	0,195	0,109	0,109	0,078	0,120	0,148	0,158	0,136	0,195	0,195	0,234	0,225
Silice	0,054	0,067	0,069	0,126	0,058	0,084	0,056	0,067	0,053	0,059	0,064	0,062	0,070
Acide nitrique anhydre	0,015	0,017	0,013	0,009	0,010	0,0092	0,0087	0,012	0,012	0,016	0,012	0,012	0,011
Ammoniaque	0,0026	0,0015	0,0064	0,0047	0,0032	0,0083	0,0037	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,011
Ammoniaque albuminoïde	0,0009	0,0009	0,016	0,008	0,0047	0,0083	0,0022	0,007	traces	traces	traces	traces	traces
Somme des corps déterminés	2,4025	2,3244	1,8814	1,8597	1,4017	1,8655	2,2516	2,481	1,8525	1,9948	2,4172	2,7592	2,8779
Acide carbonique calculé pour carbonates neutres de chaux et magnésie	0,5591	0,6206	0,4856	0,417	0,3594	0,3339	0,3835	0,3752	0,4591	0,3841	0,468	0,4569	0,4674
Eau d'hydratation du sulfate calcique	0,343	0,2935	0,2515	0,2574	0,1876	0,2906	0,3789	0,4297	0,2533	0,2853	0,3645	0,4411	0,4743
Totaux	3,3046	3,2 35	2,6185	2,5341	1,9487	2,490	3,014	3,2859	2,5649	2,6612	3,2497	3,6572	3,8196

Tableau II. — Composition des eaux de la Durance déduite des analyses du tableau I[1].

(Par décalitre d'eau, teneurs exprimées en grammes.)

DATES DES PRISES D'EAU.	SULFATE DE CHAUX anhydre.	CARBONATE de chaux.	CHAUX du sulfate.	CHAUX du carbonate.	CARBONATE de magnésie.	CHLORURE de sodium.	SOUDE EN EXCÈS sur le chlore.	POTASSE.	ACIDE phosphorique.	AZOTE nitrique.	AZOTE ammoniacal.	AZOTE albuminoïde.
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
17 août 1891.	1,632	0,401	0,672	0,225	0,399	0,277	manque	0,050	0,0013	0,0018	0,00125	manque.
Eau d'hiver.												
15 octobre 1891 . . .	1,224	0,239	0,704	0,134	0,395	0,213	manque	0,027	0,0017	0,0025	0,00133	traces.
15 novembre 1891 . .	0,731	0,741	0,301	0,415	0,225	0,068	manque	0,014	0,0016	0,0015	0,00141	traces.
15 décembre 1891 . .	1,219	0,718	0,502	0,402	0,334	0,264	manque	0,020	0,0020	0,0022	0,00125	traces.
15 janvier 1892 . . .	0,884	0,850	0,364	0,476	0,346	0,176	0,063	0,026	0,0070	0,0025	0,00166	0,00500
15 février 1892 . . .	1,293	0,769	0,532	0,431	0,422	0,334	0,025	0,018	0,0040	0,0039	0,00216	0,00075
15 mars 1892	1,108	0,958	0,456	0,538	0,382	0,321	0,018	0,025	0,0020	0,0044	0,00125	0,00075
Eau d'été.												
15 avril 1892	0,950	0,739	0,391	0,414	0,307	0,180	0,045	0,017	0,0010	0,0033	0,00531	0,01328
15 mai 1892.	0,972	0,683	0,400	0,383	0,223	0,180	0,022	0,021	0,0040	0,0023	0,00390	0,00664
15 juin 1892.	0,709	0,657	0,292	0,368	0,135	0,129	0,015	0,020	0,0038	0,0026	0,00265	0,00390
15 juillet 1892. . . .	1,102	0,529	0,454	0,296	0,191	0,198	0,019	0,021	0,0017	0,0024	0,00679	0,00679
15 août 1892.	1,432	0,449	0,589	0,252	0,355	0,244	0,026	0,022	0,0040	0,0023	0,00307	0,00182
15 septembre 1892. .	1,624	0,470	0,669	0,264	0,321	0,261	0,032	0,021	0,0040	0,0031	0,00166	0,00581
Eau d'hiver.												
15 octobre 1892 . . .	0,957	0,734	0,394	0,411	0,260	0,224	0,019	0,018	0,0025	0,0031	0,00083	traces.
15 novembre 1892 . .	1,078	0,579	0,444	0,324	0,242	0,322	0,014	0,018	0,0038	0,0041	0,00083	traces.
15 décembre 1892 . .	1,377	0,796	0,567	0,446	0,225	0,322	0,011	0,021	0,0032	0,0031	0,00083	traces.
15 janvier 1893 . . .	1,678	0,716	0,691	0,401	0,271	0,385	0,018	0,019	0,0022	0,0031	0,00083	traces.
15 février 1893 . . .	1,792	0,727	0,738	0,407	0,281	0,371	0,013	0,026	0,0019	0,0028	0,00083	traces.
MOYENNE GÉNÉRALE (18 mois)	1,209	0,653	0,509	0,366	0,295	0,248	0,024	0,0224	0,00287	0,00282	0,0021	0,00258
HIVER : octobre 1891 à mars 1892 (6 mois)	1,076	0,713	0,477	0,399	0,351	0,229	0,035	0,0216	0,00305	0,00283	0,00151	0,00108
ÉTÉ : période des arrosages, avril 1892 à septemb. (6 mois).	1,132	0,588	0,466	0,330	0,255	0,199	0,027	0,0203	0,00308	0,00267	0,00389	0,00624
HIVER : octobre 1892 à février 1893 (5 mois).	1,161	0,710	0,567	0,398	0,256	0,325	0,015	0,0204	0,00272	0,00324	0,00083	"

1. Les cinq analyses publiées antérieurement au *Bulletin de l'Agriculture* ont été ajoutées.

Tableau III. — Apports moyens de l'eau de la Durance en substances fertilisantes.

PÉRIODE DE TEMPS CORRESPONDANT AUX MOYENNES.	PAR MÈTRE CUBE D'EAU. (Quantités exprimées en grammes.)						PAR HECTARE ET PAR AN pour arrosages consommant 15,811 m³. (Quantités exprimées en kilogr.)		
	Potasse.	Acide phosphorique.	AZOTE nitrique.	AZOTE ammoniacal.	AZOTE albuminoïde.	AZOTE total.	Potasse.	Acide phosphorique.	Azote total.
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
MOYENNE GÉNÉRALE.									
Août 1891 à février 1893 (18 mois, 18 analyses)	2,24	0,287	0,282	0,210	0,258	0,750	35,416	4,737	11,858
MOYENNE D'HIVER.									
Octobre 1891 à mars 1892 (6 mois, 6 analyses).	2,16	0,305	0,283	0,151	0,108	0,542	34,151	4,822	8,569
MOYENNE D'ÉTÉ.									
Période des arrosages, avril à septembre 1893 (6 mois, 6 analyses).	2,03	0,308	0,267	0,389	0,624	1,280	32,096	4,870	20,238
MOYENNE D'HIVER.									
Octobre 1892 à février 1893 (5 mois, 5 analyses).	2,04	0,272	0,324	0,083	traces	0,407	32,254	4,300	7,431

II. — Sur les limons de la Durance.

Les tableaux IV à VIII (p. 232-236) montrent la composition de 23 échantillons de limons de la Durance, choisis dans les conditions les plus variées.

La lecture de ces tableaux permet d'apprécier à la fois la constitution physique de ces limons, leur composition chimique et leur richesse en éléments fertilisants.

Les échantillons sont classés suivant leur provenance, déjà indiquée dans la première partie de ce mémoire ; il est facile de les comparer suivant d'autres affinités, le mode de groupement des corps dosés étant identique dans toutes les séries. Mais, avant d'insister sur les particularités qu'offre chacune des divisions, il convient de signaler les caractères d'ensemble qui se rapportent à ces sédiments.

Généralités sur les limons de la Durance.

Au point de vue de leur constitution physique, on peut dire que les limons de la Durance offrent les variations les plus étendues. Certains d'entre eux sont essentiellement sableux, tels ceux provenant du curage des canaux à pente très accusée, comme la branche mère du canal de Craponne et la plupart de ceux qui, déposés sur les rives de la Durance, constituent maintenant des sols conquis sur son ancien domaine. On trouve dans cette dernière catégorie des dépôts contenant jusqu'à 77 p. 100 de sable grossier et toujours au moins 50 p. 100. Un peu plus de la moitié de ce lot sableux est siliceux. Les limons qui restent en suspension dans les eaux du canal de Craponne et *à fortiori* ceux que charrient les autres canaux de la Durance, qui offrent une moindre pente, sont au contraire riches en sédiments impalpables, cela même au moment des troubles les plus abondants. C'est ainsi que les limons empruntés aux bassins du canal de Marseille sont formés pour la plus grande partie d'éléments d'une grande ténuité. Le lot impalpable surpasse généralement dans cette catégorie 70 p. 100 et il atteint quelquefois 95 p. 100.

Cette finesse des limons peut être appréciée au microscope : dans le lot d'impalpable les plus grosses particules mesurent environ $0^{m},0215$, le plus grand nombre atteint à peine $0^{m},0020$, soit $\frac{2}{100}$ de millimètre. La portion du limon qui au bout de deux heures se maintient encore en suspension dans l'eau en formant un trouble laiteux montre des particules dont les plus grosses n'excèdent guère $\frac{1 \text{ à } 2}{1000}$ de millimètre.

Le lot sableux, examiné au moment où il ne donne plus lieu à un trouble sensible par friction avec le doigt sur le fond de la capsule servant à la lévigation, montre des éléments qui mesurent depuis $0^{m},027$ jusqu'à $0^{m},067$, soit de $\frac{3}{10}$ à $\frac{7}{10}$ de millimètre. En effet, sur le tamis de 10 fils par centimètre, dont les mailles ont environ $\frac{7}{10}$ d'ouverture, les limons ne laissent pas de résidu. Mais beaucoup de ces

particules sableuses se montrent au microscope comme des agrégats de matières plus fines. Si l'on prolonge la friction, on obtient en effet de nouveau un trouble appréciable, quoique le résidu paraisse purement sableux. Il reste toujours dans cette portion lévigée une partie notable de matière ténue.

L'analyse physico-chimique, suivant la méthode de Schlœsing, n'a été faite que sur quelques échantillons afin de déterminer la proporportion d'argile coagulable. Dans les limons charriés par les canaux, cette proportion varie de 10 à 25 p. 100. Mais sur tous les échantillons on a déterminé, par le même procédé de lévigation qu'emploie Schlœsing, les lots sableux et impalpables, ainsi que la proportion de calcaire afférente à chacun de ces lots.

Les limons ne renferment que très peu de débris organiques apparents, environ 1 à 3 millièmes. L'humus est aussi rare : beaucoup de limons décalcifiés ne donnent même aucune coloration sensible avec le liquide ammoniacal chargé de dissoudre ce composé.

Les résultats suivants ont été obtenus sur deux limons de crues, dont le dernier surtout paraissait devoir renfermer une notable proportion d'humus :

Crue du 15 juin 1892 (limon jaune, humus). . .	0.135 p. 100
Crue du 2 août 1892 (limon noir, humus) . . .	0.260 —

Le premier de ces échantillons renfermait 15.5 et le second 25.5 p. 100 d'argile coagulable.

Le taux d'azote constaté dans les limons implique cependant la présence d'une certaine proportion de matières organiques. On y trouve aussi un peu de soufre, quoique les limons ne renferment point de sulfates, hormis la faible trace qui appartient à l'eau de la Durance, évaporée pendant leur dessiccation. Seuls les dosages de carbone peuvent permettre d'apprécier le taux de matières organiques qu'ils renferment. Hervé Mangon a dosé le carbone dans les 17 échantillons qu'il a étudiés en 1860[1]. Les teneurs constatées varient entre 0.470 et 0.926 p. 100. Si l'on compare ce dosage à

1. *Expériences sur l'emploi des eaux d'irrigation*, p. 139-149 ; Dunod, édition de 1869.

ceux de l'azote, on trouve un rapport moyen de 6.22 de carbone pour 1 d'azote, rapport plus faible que celui que l'on constate dans les terres arables fertiles et à peu près identique à celui des sols très pauvres ou privés depuis longtemps de fumures. Sans attacher à cette remarque une importance décisive, il est en tout cas hors de doute que la matière organique des limons est peu altérable et que l'azote qu'elle renferme est, par suite, difficilement assimilable.

Les limons de la Durance possèdent un caractère chimique à peu près constant, leur grande richesse en carbonate de chaux. Les analyses annexées à ce rapport donnent, comme variations extrêmes, de 23 à 47 p. 100 de calcaire ; mais la moyenne déduite de l'ensemble des dosages s'élève au chiffre de 43.30 p. 100.

Le résidu de silice et de silicates inattaqués par les acides à chaud varie depuis 41.9 jusqu'à 62 p. 100 avec une moyenne de 46.11 pour l'ensemble.

L'alumine et le peroxyde de fer varient de 4.6 jusqu'à 9.90 p. 100.

Les teneurs en substances fertilisantes oscillent dans les limites suivantes par kilogramme de limon sec :

		gr.		gr.		gr.
Azote	de	0,400	à	1,400	(Moyenne générale) . . .	0,725
Acide phosphorique . .		0,700		1,790	— . . .	1,119
Potasse soluble à chaud dans les acides . . .		0,860		4,840	— . . .	2,340
Potasse totale.		11,960		29,700	(Moyenne de 13 dosages).	16,900

C'est en azote que les limons de la Durance sont le moins bien pourvus, surtout si l'on fait entrer en considération la forme peu active sous laquelle existe cet élément. Ils sont, par contre, moyennement riches en acide phosphorique et, en général, riches en potasse, conclusions conformes à celles de notre premier mémoire.

L'infertilité incontestable des limons de la Durance dans les premiers temps de leur dépôt ne dépend donc pas du manque d'acide phosphorique et surtout de potasse, comme l'a écrit Paul de Gasparin, d'après deux analyses dont les résultats sont sûrement exceptionnels. La raison de leur inaptitude culturale temporaire dépend essentiellement de leur nature physique, l'abondance du lot impalpable, souvent très argileux, joint à la rareté de l'humus.

On comprend fort bien, sans qu'il soit nécessaire d'insister sur ce point, que des sédiments aussi fins et presque purement minéraux ne puissent constituer un support convenable pour la végétation. Mouillés, ces sédiments se délayent et perdent toute consistance. Exposés aux sécheresses, ils abandonnent rapidement leur eau d'imbibition, qu'aucune agrégation organique ne contribue à retenir; ils se fendillent en tous sens, en larges esquilles, si la couche du dépôt est peu épaisse, en prismes réguliers si cette couche est profonde. De là tous les insuccès éprouvés lorsque les irrigations apportent trop rapidement une masse appréciable de limon qui ne peut être incorporée avec le sol arable sous-jacent par des façons appropriées. L'échec qui a suivi l'emploi des limons de la Durance appliqués en Crau sur des sols occupés par des plantations de vignes n'a point d'autre cause. (Expérience faite par la Compagnie du colmatage de la Crau et des marais de Fos.)

Avant d'examiner les conditions qui sont de nature à modifier ces défauts physiques, il est nécessaire de compléter les données qui précèdent par une étude plus spéciale de chacune des séries de limons.

Limons charriés par les canaux : échantillons moyens mensuels.

La plus importante de ces séries est celle des limons recueillis chaque jour dans les eaux de Craponne pendant une durée de sept mois, dont cinq correspondent à la période des arrosages (tableau IV).

De couleur grise, sauf ceux d'août et de septembre qui ont offert une teinte jaunâtre, tous ces limons montrent une grande ténuité.

Le plus pauvre en impalpable, celui de septembre, en renferme néanmoins 74 p. 100; le plus riche, celui de juillet, 86.40 p. 100; calculée pour l'ensemble, la moyenne atteint 82.50.

Le taux en carbonate de chaux varie entre 45.023 p. 100, maximum constaté en juin, et 34.19, minimum en août; moyenne générale, 40.989 p. 100.

Silice et silicates insolubles dans les acides, maximum en août, 49.852 p. 100 et minimum en mai, 43.464 p. 100; moyenne générale, 46.151 p. 100.

Il est intéressant de rapprocher de ces chiffres ceux obtenus par Hervé Mangon en 1860, en analysant deux séries d'échantillons, la première prélevée à Mérindol-en-Durance, la deuxième dans le canal de Carpentras, à l'échelle des Taillades, échantillons mensuels, comme les nôtres, et recueillis dans des conditions analogues. Je reproduis ci-dessous les chiffres extrêmes et les moyennes calculées d'après ces analyses [1].

1° Limons pris à Mérindol :

Carbonate de chaux : maximum en juillet, 48.120 p. 100 ; minimum en septembre, 36.250 p. 100 ; moyenne générale, 41.70 p. 100.

Silice et silicates insolubles : maximum, 51.50 p. 100 ; minimum, 40.55 p. 100 ; moyenne générale, 46.70 p. 100.

2° Limons pris aux Taillades :

Carbonate de chaux : maximum, 42.50 en juillet ; minimum, 34.82 en octobre ; moyenne générale, 39.585 p. 100.

Silice et silicates insolubles : maximum, 52.75 ; minimum, 46.00 ; moyenne générale, 48.637 p. 100.

Les teneurs en substances fertilisantes varient, d'après nos essais, dans les limites suivantes par kilogramme de limon sec :

		gr.*		gr.			gr.
Azote.	de	0,600	à	1,12	(Moyenne générale).		0,808
Acide phosphorique . .		0,980		1,430	—		1,215
Potasse soluble à chaud dans les acides. . .		1,520		3,640	—		2,607
Potasse totale		13,70		18,100	(Moyenne de 4 déterminations).		15,525

Dans les analyses d'Hervé Mangon, les dosages d'azote ont varié de 0gr,710 à 1gr,28 p. 1 000. La moyenne est de 0gr,943 pour l'ensemble des échantillons. Si l'on calcule séparément le dosage moyen de l'azote pour chacune des deux séries de limons que cet auteur a étudiés, on arrive aux proportions suivantes :

Limon pris en Durance à Mérindol	0.862 p. 1 000
— dans le canal de Carpentras. . . .	1.035 —

1. Ouvrage déjà cité, p. 139 et 149.

La première de ces moyennes concorde avec celle que nous avons déterminée pour le canal de Craponne. Par suite de sa pente si accusée, ce canal doit en effet charrier à peu près tout le limon qu'il emprunte à la Durance, sans abandonner dans sa cuvette une proportion notable de limons sableux. Or, ces derniers sont les plus pauvres en azote, ainsi qu'on le verra plus loin. Le canal de Carpentras, dont la pente est bien moindre que celui de Craponne (section de la branche mère dont nous parlons ici), doit charrier des limons les plus fins et par suite plus riches en azote. Les déterminations de l'acide phosphorique et de la potasse manquent dans le travail d'Hervé Mangon.

On voit que la composition des limons de la Durance recueillis à trente-deux années de distance n'accuse que de faibles différences. Si les chiffres extrêmes varient un peu, les moyennes se confondent presque, malgré que les analyses comparées aient porté sur des échantillons prélevés dans des stations différentes (Mérindol, Lamanon).

Poids du limon dans les eaux d'irrigation.

Il reste à examiner ce qui a trait au poids de limon contenu en moyenne dans les eaux pendant la saison des irrigations. Les essais que nous avons faits n'ont pas à ce point de vue une portée générale ; ils ont duré trop peu de temps et n'offrent qu'une valeur documentaire pour la période observée et la station choisie, le bassin de partage des canaux de Craponne à Lamanon. Ce poids de limon charrié par les eaux varie en effet incessamment. Il n'est pas semblable au même moment pour les divers points du parcours d'un même canal dont la pente est nécessairement variable et dont les prises échelonnées le long de ce parcours sont placées dans des conditions qui favorisent diversement l'entraînement des sédiments. Si l'on ajoute à ces causes de variation celles qui dépendent de l'irrégularité elle-même des transports de limon dans les eaux de la Durance, il est facile de comprendre que les expériences comme celles ici résumées n'ont qu'une valeur essentiellement contingente.

Les eaux limoneuses recueillies chaque jour à Lamanon, durant

sept mois de l'année 1892, ont donné, par mètre cube et pour chacun des mois, les poids suivants de limon :

Mai	$0^{kg},930$
Juin	0 ,953
Juillet	0 ,4698
Août	2 ,4505
Septembre.	0 ,1655
Octobre.	3 ,408
Novembre.	0 ,693

Moyenne par mètre cube dans les sept mois : $1^{kg},295$

Dans cette énumération figurent octobre et novembre qui n'appartiennent pas à la saison des arrosages et qu'il faut retrancher. Le mois d'avril, d'autre part, n'a pu être observé et manque dans la période d'été. Les cinq mois compris entre le 1er mai et le 30 septembre donnent une moyenne de $0^{kg},9937$ par mètre cube, c'est-à-dire moins de 1 millième. Or, cette moyenne serait plutôt abaissée que relevée par le quantum d'avril qui fait défaut, car généralement la proportion de limon charrié en ce mois est faible par rapport aux mois qui suivent.

Barral avait admis dans ses calculs, pour les apports fournis par les eaux d'irrigation de la Durance, une teneur de $1^{kg},300$ de limon par mètre cube. Les calculs dans notre précédent mémoire ont été basés sur ce même chiffre. Convient-il de le conserver, malgré une constatation qui, pour la branche mère de Craponne, n'a pas atteint un millième en 1892 ? Si l'on se reporte aux documents qui seront plus loin fournis sur les coefficients mensuels des limons constatés pendant une longue série d'années par MM. les Ingénieurs des ponts et chaussées des Bouches-du-Rhône, au pont de Mirabeau, si l'on tient compte de la décroissance dans la proportion de limon que ces expériences accusent, on reconnaîtra, je crois, la nécessité d'abaisser la moyenne jusqu'ici admise. Il ne s'agit d'ailleurs que d'une approximation dont le caractère incertain a été plus haut indiqué ; en adoptant le poids moyen de 1 kilogr. par mètre cube, la moyenne est peut-être encore supérieure à la réalité.

D'après ce taux, la quantité de limon apportée par hectare, avec un arrosage correspondant à 1 litre par seconde durant les 183 jours

du semestre d'été, correspond à 15 811 kilogr., proportion qui renferme, d'après les moyennes teneurs fixées plus haut pour les limons mensuels :

Azote	12kg,775
Acide phosphorique.	19 ,210
Potasse (soluble dans les acides) . . .	41 ,219

En ajoutant à ces chiffres les apports correspondants calculés plus haut pour les eaux de la Durance, on arrive aux approximations totales suivantes :

Azote	33kg,013
Acide phosphorique	24 ,080
Potasse	73 ,315

L'azote et l'acide phosphorique ne sont donc introduits par l'irragation, telle qu'on la pratique dans le Midi, qu'en faibles proportions, ce qui explique la nécessité des fumures soutenues, riches en ces deux éléments, tandis que la potasse est, au contraire, assez abondamment apportée, même en ne considérant que la part de cet élément qui dans les limons est attaquable par les acides. Rappelons encore que l'azote et l'acide phosphorique des limons ne peuvent être considérés comme facilement assimilables. Ces conclusions sont en tout conformes à celles de notre précédent mémoire.

Limons des crues.

Depuis mai jusqu'en novembre 1892, cinq périodes de troubles exceptionnels ont été observées dans le canal de Craponne et ont donné lieu à des recueillements de limons qui diffèrent des précédents par des caractères secondaires, tels que certaines teintes particulières, une moindre richesse en calcaire. Les proportions de limon charriées pendant ces troubles sont importantes, comme on en peut juger par les observations suivantes :

	POIDS DU LIMON par mètre cube.
15 juin 1892 (limon jaune)	3kg,558
18 juillet 1892 (limon jaune, puis jaune foncé) . . .	19 ,116
2 août 1892 (limon gris noir).	25 ,335
7 octobre 1892 (limon gris foncé)	37 ,214
15 octobre 1892 (limon gris brunâtre).	14 ,380

Barral a cité, d'après les renseignements du service des ponts et chaussées, des troubles beaucoup plus considérables encore, constatés en Durance au pont de Mirabeau :

	POIDS DU LIMON par mètre cube.
5 août 1868 (limon)	100^{kg},00
17 août 1868.	75 ,00
4 juillet 1875	33 ,70
4 août 1875.	43 ,20

Les quantitée de 30 à 35 kilogr. par mètre cube sont des maxima assez ordinaires. Les chiffres supérieurs sont rares. « Lorsque les eaux sont jaunes ou rouges, les cultivateurs, dit Barral, ne s'en servent pas ; ils attribuent leur mauvaise qualité à la grande quantité d'oxyde de fer qu'elles contiennent et qui rouille les plantes et nuit aux récoltes. »

Ces crues, de nuances si accusées, sont particulières au Caulon, qui ne verse ses eaux en Durance que bien au-dessous de Carpentras, en aval des prises des principaux canaux de la Durance. Les limons jaunes signalés plus haut pour le canal de Craponne proviennent des crues du Verdon. Elles n'offrent pas le défaut signalé par Barral et aussi par Paul de Gasparin quant à la présence de l'oxyde de fer, car la quantité de ce corps n'est pas supérieure à celle que l'on rencontre dans les limons gris (voir tableau V, p. 232-233).

Malgré leur teinte distincte, ces limons de crue ne diffèrent guère, en effet, de ceux de couleur généralement gris clair que charrie normalement la Durance. Toutefois, le limon foncé du 2 août, presque noir à l'état humide, offre un taux de calcaire très faible, 22.30 p. 100, par rapport à ceux ordinaires de Durance, qui contiennent environ 40 p. 100 de ce corps. Un autre de ses caractères est sa richesse relative en azote, 1^{gr},40 par kilogramme, soit près du double des limons jaunes ou gris qui appartiennent à cette série.

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, les limons des grands troubles sont formés d'éléments très fins. Parmi ceux que nous avons observés, le moins riche en impalpable en renferme encore 80.33 p. 100, échantillon du 15 octobre. Celui du 2 août en contient 94.50 p. 100 ; c'est le plus fin de tous et sa richesse en azote concorde

avec ce caractère de ténuité. La moyenne générale des cinq limons ressort à 86.44 p. 100 d'impalpable.

Le taux moyen en calcaires est de 36.557 p. 100. Il se trouve beaucoup abaissé par la teneur faible, 22.30 p. 100, de l'échantillon du 2 août. Si, au lieu de calculer la moyenne arithmétique des dosages, on avait calculé une moyenne proportionnelle au poids des limons recueillis, l'abaissement du taux du calcaire aurait été plus accusé encore (34.70 p. 100). Le limon le plus riche en calcaire se trouve dans cette série celui du 15 juin, 42.494 p. 100.

La proportion du résidu de silice et de silicates insolubles dans les acides offre des écarts inverses de celui du calcaire. Maximum en août, 61.96 p. 100. Minimum en octobre, 43.98. Moyenne générale, 49.237 p. 100.

L'échantillon du 2 août montre la teneur la plus faible en calcaire de toutes les analyses de limons de Durance jusqu'à présent connues. Hervé Mangon a trouvé 34.82 p. 100 comme minimum se rapportant à un échantillon mensuel d'octobre 1860, chiffre presque identique à celui du limon moyen d'août 1892 de la précédente série (34.19). Or, il est évident que le taux constaté dans ce dernier limon dépend de la crue du 2 août. Barral a cité une teneur de 31.43 p. 100 dans un limon recueilli par lui-même le 29 juin 1876 dans le canal de Marseille. Ces limons pauvres en calcaire, relativement aux autres, proviennent de la vallée supérieure de la Durance et apparaissent normalement pendant les mois d'été à la suite de crues accidentelles. Mais, suivant le caractère de ces crues, ils se mélangent plus ou moins intimement aux atterrissements de limons beaucoup plus calcaires qui garnissent la vallée moyenne et inférieure. Ces remaniements égalisent les teneurs, et il faut des circonstances spéciales pour laisser persister les caractères d'origine première et créer des différences aussi sensibles que celles du 2 août. Ce ne sont pas les crues à haut étiage qui produisent de tels effets, car, au contraire, dans ce dernier cas, les remaniements sont plus intenses. La crue du 2 août n'était que de $0^m,78$ à l'échelle de la Madeleine et elle avait succédé à une crue de $1^m,25$ de hauteur la veille. C'est peut-être à la faveur de cette circonstance que le limon a offert une aussi forte différence dans la teneur en carbonate de chaux. Un der-

nier caractère de cet échantillon de limon est sa grande richesse en potasse totale, conséquence de son origine.

Les teneurs en éléments fertilisants des limons de crues que nous avons étudiés sont les suivantes par kilogramme de limon sec :

		gr.		gr.		gr.
Azote	de	0,670	à	1,400	(Moyenne générale)	0,842
Acide phosphorique.		0,700		1,510	—	1,044
Potasse soluble dans les acides . . .		1,730		3,440	—	2,812
Potasse totale. . .		16,01		29,73	(Moyenne de 4 déterminations).	20,062

Cette dernière moyenne doit être considérée comme trop élevée, car parmi les quatre déterminations se trouve celle de l'échantillon du 2 août, particulièrement riche en potasse inattaquable par les acides.

Les limons de crues ne diffèrent guère des limons moyens mensuels examinés précédemment. Les conclusions formulées à l'égard de ces derniers leur sont donc applicables.

Rien dans les analyses ne paraît justifier les défauts reprochés aux limons de couleur jaune quant à leur nocuité pour les cultures. Mais nous avons fait remarquer que les limons de cette teinte qui sont incriminés n'appartiennent qu'au cours inférieur de la Durance. Ces sédiments particuliers seront étudiés ultérieurement avec les terres de la basse vallée de Durance et nous nous procurerons des échantillons typiques dans les canaux d'irrigation où ils apparaissent quelquefois. La préférence pour les limons gris et surtout gris foncé, noirs, quand ils sont humides, s'explique par leur teneur supérieure en azote et en potasse, par leur richesse assez grande en acide phosphorique.

Limons provenant du curage des canaux de Craponne.

La pente si accusée des canaux de Craponne, dans lesquels la vitesse de translation de l'eau varie entre $1^{m},50$ et 2 mètres par seconde, empêche le dépôt des sédiments, à moins qu'ils ne soient très sableux et grossiers. Entre la prise de Gontard et le bassin de partage de Lamanon, la branche mère de Craponne, d'une portée de

24 mètres cubes par seconde au maximum, présente une pente de 30^{m},72 pour un parcours de 22 995 mètres, c'est-à-dire 1^{m},33 par kilomètre. Du bassin de Lamanon à Arles, la pente moyenne est encore plus forte, car, pour une longueur de 45 138 mètres, la différence de niveau est de 105^{m},90, soit environ 2^{m},13 par kilomètre. Aussi l'échantillon moyen du limon de curage prélevé sur ces parties du canal renferme-t-il 72.24 p. 100 de sable grossier.

La dérivation d'Istres, qui offre la moindre pente, a fourni un échantillon moyen contenant 56.37 p. 100 de sable grossier. Pour l'ensemble des canaux du système de Craponne, la proportion moyenne du lot sableux atteint 61.62 p. 100.

Il est probable qu'aucun des autres canaux de la Durance n'est placé dans d'aussi bonnes conditions pour l'entraînement des limons; la détermination seule du lot sableux qui existe dans leurs limons de curage suffirait pour mesurer les différences qu'ils présentent sous ce rapport avec ce dernier.

Le taux du carbonate de chaux est à peu près le même dans les limons recueillis lors du curage des canaux de Craponne au printemps 1892; il s'élève à 44.5 p. 100. La silice et les silicates insolubles forment 46.45 p. 100 de leur masse.

Les dosages de substances fertilisantes ont donné les résultats suivants par kilogramme de limon sec :

	MINIMUM.	MAXIMUM.	MOYENNE.
	—	—	—
	gr.	gr.	gr.
Azote	0,400	0,630	0,520
Acide phosphorique	0,870	0,990	0,930
Potasse soluble dans les acides	0,860	1,560	1,205
Potasse totale	11,960	12,660	12,355

Ces limons sont très pauvres en azote, particulièrement celui de la branche mère de Craponne qui offre le lot sableux le plus considérable. Ils sont moins bien pourvus en acide phosphorique et en potasse que les limons jusqu'ici examinés.

Toutefois, la vallée de la Durance est en grande partie constituée par des sols qui présentent avec ces limons sableux la plus grande identité, sols pauvres par conséquent, mais d'une constitution phy-

sique favorable qui permet de mettre immédiatement en culture toutes les parties que l'on arrive à protéger contre les divagations de la rivière. Avec des fumures azotées suffisamment abondantes, ces terres deviennent aptes à tous les genres de cultures. On sait combien sont prospères les communes dont le territoire occupe ce domaine des parties basses de la vallée et l'on comprend les grands efforts et les dépenses considérables qui sont faites par les syndicats ou les particuliers, aidés par l'État, pour endiguer la rivière et favoriser la formation de zones de dépôts nouveaux qui sont rapidement mis en exploitation.

Limons recueillis dans les bassins de décantation du canal de Marseille.

Tableau VII. — Les quatre échantillons de limons qui font partie de cette série ont été recueillis par M. Hanché, ingénieur-directeur du canal de Marseille, et ont été pris dans les principaux bassins où les eaux de Durance s'éclaircissent avant d'arriver à Marseille. Ces limons représentent une accumulation des sédiments de la rivière.

D'une couleur uniformément grise, ils montrent une grande finesse. Dans le bassin de Réaltor, l'impalpable forme 84.35 p. 100 de la masse ; dans celui de Ponserot, 95.30 ; les autres bassins ont donné des résultats intermédiaires et, pour l'ensemble, la moyenne du lot impalpable atteint 88 p. 100.

La teneur en carbonate de chaux est presque uniforme : minimum, 42.57 p. 100 ; bassin de Sainte-Marthe : maximum, 46.024 ; bassin de Saint-Christophe : moyenne générale, 43.383 p. 100.

Silice et silicates insolubles dans les acides : minimum, 42.112 p. 100 ; maximum, 44.856 ; moyenne, 43.383 p. 100.

La richesse par kilogramme de limon sec est, en éléments utiles, la suivante :

	MINIMUM.	MAXIMUM.	MOYENNE.
	gr.	gr.	gr.
Azote	0,410	0,760	0,537
Acide phosphorique	0,840	1,370	1,030
Potasse soluble dans les acides à chaud	1,800	2,420	2,035
Potasse totale (détermination unique)	16,70	»	»

Le caractère particulier de ces limons est leur pauvreté en azote. Malgré leur ténuité, trois d'entre eux sont aussi pauvres en cet élément que les limons sableux du curage des canaux. La connexion qui pour les autres séries existe entre la finesse et la richesse en azote est ici en défaut. Il faut attribuer cette différence à ce fait que les particules organiques restent dans les bassins beaucoup plus longtemps en suspension dans l'eau que les sédiments minéraux. Les limons qui sont retenus sont donc fortement appauvris en substances organiques et par suite en azote.

J'ai recueilli dans une caisse de distribution d'eau qui existe dans un jardin, près de mon laboratoire, de la vase de Durance qui s'y était accumulée durant trois années. Cette vase est formée précisément des limons les plus fins de Durance qui échappent aux décantations dans les bassins. Sa composition est représentée dans la dernière colonne du tableau VII et l'on remarquera combien, au contraire, elle est riche en azote (1.35 p. 1 000), ainsi qu'en acide phosphorique (1.79) et en potasse soluble dans les acides (4.84 p. 1 000). Dans cet échantillon, contrairement à ce qu'on pouvait penser, le lot sableux est assez important : 32.75 p. 100. Cela montre seulement qu'une part très considérable du limon fin a été entraînée par lévigation, pendant les vidanges successives de ce réservoir. En tout cas, la richesse de ce limon concorde avec l'explication fournie plus haut quant à l'appauvrissement des dépôts formés dans les bassins de décantation du canal de Marseille. J'ai dosé l'azote dans deux autres échantillons de dépôt formés dans les mêmes conditions que je viens d'exposer; les titres trouvés ont été 1.25 et 1.28 p. 1 000.

Le bassin de Sainte-Marthe, qui ne fonctionne plus maintenant que comme réservoir de secours pendant la durée des chômages et dans lequel, à la faveur d'un repos prolongé, les sédiments peuvent se séparer complètement, a fourni un limon dont la teneur en azote est sensiblement égale à celle de beaucoup de limons de la rivière.

Terres formées par les apports de la Durance.

A titre de comparaison avec les limons qui viennent d'être passés en revue, j'ai recueilli, près de Meyrargues, deux échantillons de

sols formés par des atterrissements récents de la Durance (voir tableau VIII, p. 236).

L'un de ces sols renferme 77 p. 100 de sable et présente l'allure des terres souples et faciles que l'on rencontre le long de la rivière et qui ont été conquises successivement sur son domaine pour être consacrées à la culture. L'autre est limoneux et s'est déposé à la faveur d'une digue, sur une partie assez restreinte ; il contient, comme les limons charriés par les canaux, un lot important d'impalpable, 70.76 p. 100. Le premier de ces sols est apte à être mis immédiatement en culture, tandis que le second peut être considéré comme stérile.

On remarquera la différence du taux de l'azote dans ces terrains contigus. Le sol sableux ne renferme que $0^{gr},460$ de cet élément par kilogramme, tandis que le sol limoneux en contient $0^{gr},780$. Le taux des autres éléments fertilisants est aussi en faveur du sol limoneux, et cependant, des deux terres, c'est la plus pauvre qui offre seule la possibilité d'une utilisation agricole immédiate.

Emploi des limons de la Durance pour le colmatage.

Cette remarque nous ramène aux observations déjà faites dans le cours de cette étude en ce qui concerne les causes de l'infertilité des limons fins de la Durance. Il reste à examiner quels sont les moyens propres à faire disparaître leurs défauts physiques.

La solution de ce problème n'est pas à rechercher, car elle existe complète, sous nos yeux, au voisinage même de la Durance et dans les terrains formés, pour une part au moins, par ses apports. Les terres fortes des marais anciens et aujourd'hui desséchés d'Arles, du petit Plan-du-Bourg, justement réputés comme fertiles, ne diffèrent, comme composition chimique et physique, des limons de la Durance que par la présence de quelques centièmes de matières organiques accumulées par un régime palustre plus ou moins prolongé. Ce régime a procédé à la formation de la plupart des plaines alluviales, lorsque les cours d'eau, aux époques géologiques, remplirent de limons les espaces fermés, véritables bassins de colmatage naturels, qui, avant de constituer leurs vallées, en retenaient les

eaux par étages successifs. Au voisinage de la mer, les mêmes phénomènes se produisent de nos jours dans les estuaires et les deltas, mais avec la complication du salant. Le colmatage artificiel reproduit ces conditions naturelles ; il est accompagné et suivi d'un régime palustre. Il n'est pas douteux que les limons de la Durance produisent, sous les effets de ce régime, des sols fertiles. L'initiative privée en a fourni des exemples, et il est surprenant que cette solution, si nettement indiquée, qui a même suscité pour la Crau des projets remarquables, sur lesquels l'attention publique s'est longuement portée, n'ait pas abouti à une application au moins partielle.

C'est qu'en réalité, peu après l'édification de ces grands projets de colmatage de la Crau, on a cru les limons de la Durance infertiles par nature chimique. Les analyses de P. de Gasparin, et surtout les déductions trop formelles qu'il en a tirées, ont fourni une base à cette erreur. Or, d'une manière générale, il n'était guère possible d'admettre une telle pauvreté. Les limons arrachés aux pentes d'un bassin étendu, comportant des formations géologiques variées, ne peuvent être ni très riches, ni très pauvres. Ils offrent plutôt, nécessairement, une teneur moyenne en principes fertilisants utiles, et ce sont surtout les caractères physiques de ces sédiments qui peuvent favoriser ou retarder leur transformation en terres cultivables.

Les alluvions souples, de nature sableuse, sont sous ce rapport les mieux partagées. Dès que l'incursion des eaux de la rivière qui les a déposées peut être limitée, ce sont des terres arables excellentes et faciles à cultiver, quand bien même leur teneur en éléments fertiles est faible, comme c'est le cas pour les sols sableux de la Durance, pauvres en azote. Les alluvions compactes nécessitent, au contraire, une appropriation préalable ; elle a lieu par le régime palustre en vertu même de leurs défauts physiques. A l'encontre de ces remarques, on ne pourrait citer que la richesse proverbiale des limons du Nil qui fécondent chaque année la Basse-Égypte. Mais l'observation porterait à faux, car ces limons proviennent des marais équatoriaux de la vallée haute du fleuve, et leur fertilité dépend précisément de l'élaboration palustre.

La plupart des limons de fleuves ne peuvent être, en effet, considérés comme immédiatement fertiles, car ils ont pour origine la

destruction sur place des *couches géologiques,* roches dénudées des hautes altitudes pulvérisées par le gel et par l'action des glaciers, régions déboisées qu'une couverture végétale protectrice ne défend plus. Ces débris, qui n'ont pas subi, sur place, l'influence d'une végétation primitive, lente à s'établir, et qui sont entraînés dans les vallées, ne deviennent, sauf de rares exceptions, terres cultivables qu'à la faveur du processus que nous avons rappelé [1].

Les limons de la Durance sont dans ce cas. Si l'on a raison de les juger infertiles et même nuisibles, lorsqu'ils arrivent en trop grande proportion sur une terre en culture, on pourrait citer, au contraire, de nombreux exemples où, par l'effet de colmatages naturels, suivis d'une période paludique, ils ont préparé des terres fécondes. Mais ces opérations de la nature sont lentes et l'on pourrait douter de leur application pratique ; il est donc préférable et plus topique, pour une telle démonstration, d'invoquer les colmatages réalisés artificiellement. Des essais de cette sorte ont été faits au Pontet avant 1850 par M. Thomas et poursuivis par ses héritiers, jusqu'en 1877, sur environ 140 hectares d'étendue. Barral a consacré à cette œuvre agricole, suivie d'un plein succès, un historique très complet auquel nous renverrons [2], et nous ne citerons que ce qu'il est essentiel d'en retenir. Une période de cinq à six années a suffi généralement pour remplir les bassins de colmatage d'une couche de limon de 25 à 30 centimètres d'épaisseur maxima. Ces limons étaient empruntés à

---

1. Les ingénieurs hollandais qui dirigent les travaux de desséchement des *Polders,* plaines d'alluvions conquises sur la mer ou sur les estuaires tels que le lac de Haarlem, se servent d'un terme qui exprime nettement cette nécessité d'une période préparatoire avant leur mise en culture : « Il faut, disent-ils, laisser *mûrir* le terrain. » Cette maturation s'effectue sous le climat humide de l'Océan, grâce à l'influence d'une végétation spontanée de plantes d'abord aptes à résister au salant, telles que *Salicornia herbacea, Aster trifolium,* enfin *Plantago maritima,* auxquelles succéderont plus tard des mousses et autres plantes de tourbières. L'effet de ces végétations successives est tout d'abord de raffermir le sol, puis de l'enrichir en débris organiques qui lui font perdre les caractères originaires de vase marine ou fluviale. La période de raffermissement et de dessalement du terrain s'accompagne souvent d'un colmatage avec des limons fluviaux. Les meilleurs polders sont argileux, mais ils exigent une plus longue appropriation. Je dois à M. E. Tisserand, directeur de l'agriculture, ces intéressantes remarques.

2. Barral, *les Irrigations en Vaucluse,* 2e volume de 1878, p. 399.

la Durance par une dérivation du canal *Crillon* ne fonctionnant, pour cet objet, que durant quatre mois environ dans l'année. La végétation de plantes marécageuses, roseaux, etc., a promptement envahi les bassins. Les débris organiques ainsi accumulés ont été incorporés par des labours à la couche du colmatage, et les terres ainsi constituées, sur des sols de garrigue sans valeur, ont pu produire du blé, des fourrages, sans exiger, au début, l'emploi des fumures. La nécessité de ces dernières a été bientôt reconnue, ce qui ne peut surprendre, d'après la composition des limons. Mais le fait qui se dégage de cette expérience, c'est que quelques années ont suffi pour modifier les sédiments au point de leur faire acquérir les propriétés des terres arables.

Une importante expérience de colmatage est celle que poursuit actuellement en Crau M. de Montricher au domaine des Poulagères. Utilisant les dépressions qui existent sur quelques parties de la propriété, il y dirige les eaux de Craponne, disponibles en hiver. Les bords de ces dépressions ont été au préalable rehaussés par des bourrelets en terre et en cailloux. Un court séjour de l'eau a suffi pour rendre étanches ces bourrelets. On a pu constituer ainsi un marais de 16 hectares environ, dans lequel la masse de limons, accumulés depuis trois années, atteint sur quelques points 80 centimètres de profondeur. En moyenne, la hauteur du limon est de 60 centimètres. Une végétation de roseaux et plantes aquatiques s'est promptement établie sur ce fond vaseux. M. de Montricher compte étendre cet essai en profitant des exhaussements produits par le colmatage lui-même, exhaussements qui vont permettre de continuer l'opération sur des surfaces intermédiaires.

Le cadre de notre étude ne comporte pas l'examen des conditions économiques et techniques relatives aux projets de colmatage de la Crau, projets successivement abandonnés, pour les motifs plus haut signalés, écartés sans aucun doute aussi par la grande difficulté de leur réalisation au point de vue financier. Mais il nous appartient encore d'examiner une opinion qui a été émise, à propos de ces projets, et qui consiste à dire que les sols de Crau, déjà riches en argile, ne sauraient être améliorés par les limons de la Durance, qui sont d'une nature également argileuse. Les faits protestent contre

cette manière de voir. Il suffit d'examiner les sols que les irrigations ont couverts de limon et où l'amendement incriminé s'est allié à la terre de Crau, pour constater que ce sont là de beaucoup les terres les plus fertiles. L'argile vraie (coagulable) existe à peu près en égale quantité dans les terres naturelles de Crau et dans les limons de la Durance, de telle sorte que le mélange ne peut en changer la proportion, mais il est précieux pour un sol siliceux, comme celui de Crau, de recevoir un apport calcaire tel que les limons de la Durance. L'accroissement qui en résulte pour la profondeur du sol arable, très insuffisante en Crau, est un premier gain incontestable. La fertilité et les qualités physiques du terrain ne peuvent qu'être améliorées par cet apport. Enfin, les terres de Crau colmatées retiennent mieux l'humidité et réclament moins d'eau pour leur irrigation que les terres vierges ; c'est là un grand avantage.

Il nous reste à donner les renseignements que nous devons à l'obligeance de M. Roucayrol, ingénieur en chef des ponts et chaussées des Bouches-du-Rhône, sur le régime de la Durance en ce qui concerne les proportions de limon que ses eaux charrient. Deux tableaux sont ici annexés qui renferment ces renseignements.

Tableau IX. — Ce tableau mentionne à partir de 1875 jusqu'en 1889 les volumes d'eau et de limon débités par la Durance au pont de Mirabeau, d'après les expériences et les calculs de MM. les ingénieurs des ponts et chaussées des Bouches-du-Rhône. Ces débits sont indiqués par mois, pour la saison des arrosages, puis par semestres et années. Barral a fourni les chiffres annuels correspondants à la période écoulée de 1867 à 1874 et, pour en faciliter la lecture, il n'a inscrit dans son tableau que les unités supérieures : 1 000 = 1 million de mètres cubes. J'ai adopté la même simplification. Si l'on voulait connaître les poids de limon correspondant aux volumes notés, il faudrait multiplier par 1 500, poids ou densité *apparente* d'un mètre cube de limon.

Tableau X. — Ainsi que Barral en a fait la remarque, la connaissance des débits de la Durance en volumes d'eau et de limon ne permet pas de calculer ou même d'apprécier les proportions de

limon transporté par les canaux, comme avait tenté de le faire Hervé Mangon. Nous ne pouvons mieux faire que de reproduire à cet égard les observations elles-mêmes de Barral :

« L'intensité des troubles n'est point proportionnelle à la hauteur ou au débit des crues. Les plus grands troubles sont, la plupart du temps, dus à des orages locaux qui éclatent dans quelques portions du bassin supérieur et qui ne produisent que des crues relativement faibles. Les grands troubles ont le plus souvent lieu dans la saison d'été ; la Durance est, au contraire, généralement claire dans la saison d'hiver.

« Ces renseignements font pressentir que, pour déterminer le volume de limon charrié par une dérivation de la Durance, il ne suffit pas d'appliquer au débit constant ou à peu près constant de cette dérivation la proportion moyenne de limon tenue en suspension dans l'eau de la rivière, dont le débit varie tous les jours. Il est indispensable de calculer la *puissance colmatante* par dérivation d'un débit constant, de 1 mètre cube par seconde, par exemple, d'eau de Durance, c'est-à-dire le volume total de limon charrié dans une année entière par un débit constant de 1 mètre cube d'eau par seconde.

« Le calcul de cette puissance colmatante est établi depuis que les ingénieurs ont fait connaître les coefficients donnant pour chaque jour le poids de limon charrié par un mètre cube d'eau de la rivière. Considérons, par exemple, le mois d'août 1867 ; les ingénieurs ont déterminé, pour chacun des jours de ce mois, ces coefficients, que nous désignerons par les lettres α_1, α_2, α_1..... α_{31}. Un canal de colmatage, qui aurait eu sa prise au pont de Mirabeau et une portée de 1 mètre cube, aurait dérivé de la Durance, le 1er août 1867, un volume total en eau de 86 400 mètres cubes, et un poids total de limon égal à $86\,400 \times \alpha_1$. Pendant tout le mois d'août 1867, le volume total d'eau dérivé par le canal aurait été de

$$86\,400 \times 31 = 2\,678\,400 \text{ mètres cubes}$$

et le poids total de limon de

$$86\,400 \times (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 \ldots\ldots + \alpha_{31}) =$$
$$= 86\,400 \times 22^{kg},132 = 1\,912\,205 \text{ kilogr.}$$

« Si nous prenons 1.5 comme densité (apparente) des limons de la Durance, ce poids correspond à un volume total de 1 274^{mc},803. »

Barral a appliqué ce calcul aux sept premières années d'observations faites sur la Durance jusqu'en 1875 (Barral, *Concours des irrigations en 1875*, p. 261). Il m'a semblé intéressant de poursuivre le même calcul jusqu'à la fin des observations faites au pont de Mirabeau, c'est-à-dire jusqu'en 1889. Il était nécessaire pour cela de dresser un tableau des coefficients mensuels, somme des coefficients quotidiens, dont parle Barral. Grâce au concours obligeant et précieux de M. Bourdon, conducteur principal des ponts et chaussées, chef du bureau de cette administration, sur la bienveillante autorisation de M. Roucayrol, ingénieur en chef du département, j'ai pu extraire du volumineux dossier de la Durance, dossier dont il n'a rien été publié depuis les extraits faits par Barral, les chiffres qui constituent le tableau X.

Ce tableau embrasse toute la période des expériences sauf l'année incomplète de 1867. Dans la colonne de chacun des mois et en regard de chaque année, on trouvera inscrit le poids de limon qui constitue la somme des coefficients quotidiens. Chacun de ces coefficients a été déterminé par trois expériences qui ont fixé la proportion de limon existant dans 1 mètre cube d'eau. Le coefficient mensuel correspond par suite à autant de mètres cubes d'eau que le mois comprend de jours.

Des colonnes indiquent pour chaque semestre la somme des coefficients mensuels. Une colonne donne le total de ces mêmes coefficients pour l'année entière, c'est-à-dire le poids du limon reconnu dans les 365 mètres cubes (366 jours les années bissextiles) qui correspondent à autant de jours d'observation.

Dans des colonnes spéciales, pour les semestres d'été et d'hiver, pour les années, figurent les poids moyens de limon par *mètre cube*, calculé d'après les coefficients correspondants. Dans la dernière ligne du tableau figure une moyenne déterminée de la même manière pour chaque mois et cette moyenne embrasse les vingt-deux années d'observation.

Enfin, dans la dernière colonne verticale du tableau, j'ai fait figurer le poids de limon qui aurait été transporté durant chacune des années

par un canal *fictif*, d'une portée de 1 mètre cube par seconde, en supposant que ce canal ait fonctionné sans aucune période d'arrêt et qu'il ait pu transporter intégralement le limon en suspension. C'est le calcul de Barral exprimé en poids de limon.

Je le reproduis ci-dessous, transformé en volumes, c'est-à-dire tel que Barral l'a fourni jusqu'en 1874. Il existe quelques différences, de minime importance, entre les chiffres de Barral et ceux que j'ai calculés pour ces premières années :

Volume de limon charrié par un canal d'une portée de 1 mètre cube par seconde.

1868. . .	45 865^{mc},138	1879. . .	12 797^{mc},308
1869. . .	15 860 ,146	1880. . .	19 314 ,961
1870. . .	35 381 ,223	1881. . .	11 302 ,502
1871. . .	19 093 ,996	1882. . .	11 956 ,348
1872. . .	26 060 ,744	1883. . .	13 991 ,472
1873. . .	17 079 ,897	1884. . .	12 897 ,722
1874. . .	19 688 ,976	1885. . .	24 448 ,823
1875. . .	21 012 ,127	1886. . .	20 412 ,201
1876. . .	27 949 ,985	1887. . .	14 573 ,836
1877. . .	18 446 ,457	1888. . .	15 391 ,676
1878. . .	15 042 ,672	1889. . .	13 564 ,684

Dans ces vingt-deux années, la puissance colmatante a donc varié dans des limites étendues. Le rapport maximum de ces variations est d'environ 1 à 4, si l'on compare l'année la plus faible (1881) à l'année la plus forte (1868).

Cette puissance colmatante aurait été en moyenne :

De 1868 à 1871 .	29 052^{mc},624	De 1868 à 1881 .	21 707^{mc},580
1868 1872 .	28 454 ,249	1868 1882 .	21 190 ,831
1868 1873 .	26 558 ,523	1868 1883 .	20 740 ,871
1868 1874 .	25 577 ,159	1868 1884 .	20 279 ,510
1868 1875 .	25 131 ,530	1868 1885 .	20 511 ,138
1868 1876 .	25 444 ,692	1868 1886 .	20 505 ,931
1868 1877 .	24 744 ,868	1868 1887 .	20 209 ,326
1868 1878 .	23 862 ,850	1868 1888 .	19 979 ,914
1868 1879 .	22 940 ,722	1868 1889 .	19 688 ,313
1868 1880 .	22 661 ,817		

Constatant une décroissance pour les sept premières années qu'il

avait calculées, Barral avait fait la remarque que cette diminution de la puissance colmatante par dérivation des eaux de la Durance pouvait être la conséquence des travaux de reboisement et de gazonnement entrepris dans les Hautes-Alpes. Il n'est guère permis de douter maintenant de la vraisemblance de cette hypothèse, car la moyenne a continué de baisser, quoique avec moins de rapidité qu'au début.

Le débit total annuel d'une dérivation constante de 1 mètre cube d'eau par seconde est de 31 536 000 mètres cubes ; la proportion moyenne de limon déduite plus haut des vingt-deux années d'observation est, annuellement, par cette même dérivation, de 19 700 mètres cubes.

Le rapport des volumes débités est, par suite : $\frac{19\,700}{31\,536\,000} =$ 0,000 624 6 ou, en poids, pour 1 mètre cube d'eau, $0^{kg},937$ de limon, c'est-à-dire moins de 1 millième.

Barral avait trouvé jusqu'en 1875 pour le rapport des volumes, 0,000 813, c'est-à-dire en poids par mètre cube $= 1^{kg},219$.

On voit donc qu'en quinze années la puissance colmatante des eaux de Durance a diminué de 33 p. 100 ou 1/3 pour l'année entière.

En répétant les mêmes calculs sur le semestre des arrosages, c'est-à-dire en considérant les apports faits pendant 183 jours par un canal de 1 mètre cube de portée par seconde, on trouve comme quantité moyenne et annuelle de limon charrié pendant les sept premières années 26 330 tonnes ; en volumes : 17 554 mètres cubes.

Le volume d'eau débité pendant 183 jours, à raison de 1 mètre cube par seconde, et de 15 811 200 mètres cubes.

$\frac{17\,554}{15\,811\,200} = 0,001\,11$ représente le rapport moyen des volumes durant cette période, c'est-à-dire en poids par mètre cube $= 1^{kg},665$.

En poursuivant le même calcul jusqu'en 1889, la moyenne annuelle de limon charrié à la fin des vingt-deux années d'observation n'est plus que de 20 423 tonnes, ou en volume $= 13\,615$ mètres cubes.

$\frac{13\,615}{15\,811\,200} = 0,000\,861$ représente le rapport moyen des volumes à la fin de la période, en poids par mètre cube $= 1^{kg},592$.

La puissance colmatante a donc diminué en quinze ans de 22 p. 100 environ pour le semestre d'été, c'est-à-dire moins fortement que pour l'année entière.

Si nous appliquons cette déduction de 22 p. 100 au chiffre de 1kg,300 de limon par mètre cube que Barral a considéré en 1875 comme l'apport moyen de limon par mètre cube réalisé pour les eaux d'arrosages, nous tombons à une moyenne de 1kg,014 pour ce même volume d'eau. Il est légitime de penser que depuis 1889 la puissance colmatante s'est encore réduite, de sorte que le chiffre de 1 kilogr. par mètre cube, que nous avons adopté plus haut, doit être plutôt fort que faible.

Le dossier des expériences faites au pont de Mirabeau contient, à l'égard des questions d'arrosage et de colmatage, tous les renseignements que l'on peut désirer sur le régime de la rivière de Durance. Il est bien à souhaiter que l'administration des ponts et chaussées publie un extrait des principales données fournies par ce remarquable travail. Si nous n'avions pas craint d'abuser de la complaisance de M. l'ingénieur en chef, nous aurions volontiers joint aux renseignements puisés à cette source quelques autres documents utiles, tel qu'un tableau des plus basses eaux constatées annuellement en Durance.

Conclusions.

Il résulte de nos analyses que les limons de la Durance n'offrent pas l'infertilité chimique dont on les avait accusés. Ils sont pauvres en azote, moyennement pauvres en acide phosphorique, riches en potasse. Mais leur nature physique est telle que, jetés sur des terres en abondance trop grande pour y être incorporés, ils nuisent aux cultures. Ces défauts physiques peuvent disparaître entièrement, si des matières organiques s'ajoutent à ces sédiments presque purement minéraux. Le colmatage, qui a pour conséquence l'établissement d'un régime palustre, produit justement ce résultat d'enrichir les limons en matières organiques. Quelques années suffisent, au moyen de cette opération, pour convertir des sédiments nuisibles en terres de bonne fertilité, qui exigent surtout des fumures azotées

et organiques. Ces mêmes fumures sont spécialement indispensables dans les sols légers, sableux, des bords de la Durance, très pauvres en azote, mais très favorables à la culture, par suite de leur constitution physique, qui n'offre pas les défauts des limons.

Le colmatage de la Crau par les limons de la Durance est une opération des plus sûres quant au résultat agricole ; il permettrait de conquérir à la culture intensive les 20 000 hectares encore désertiques de cette plaine.

Mais la réalisation des projets de colmatage offre assurément les plus grandes difficultés. L'obstacle le plus sérieux est celui qui résulte de la nécessité de pourvoir à l'alimentation des nombreux canaux d'irrigation des Bouches-du-Rhône et de Vaucluse, canaux qui, aux époques de bas étiage d'été, absorbent à peu près le débit de la rivière. Les terrains conquis par le colmatage devraient être assurés de recevoir les volumes d'eau nécessaires pour leur irrigation, sans quoi leur création serait sans objet ; or, la Durance ne peut actuellement suffire à ces augmentations importantes de concessions et, pour pourvoir aux besoins dans ces périodes de pénuries, il faudrait disposer de réserves d'eau importantes. On a songé à utiliser dans ce but les étangs de Dezeaume et d'Entressen, dont la capacité pourrait être augmentée par des travaux convenables.

Un canal destiné au colmatage peut fonctionner avec des intermittences, et par suite ne pas nuire au régime des canaux d'irrigation. Pendant une grande partie de l'année, la Durance offre un débit considérable, supérieur à tous les besoins. En hiver, les arrosages sont suspendus et l'eau peut être employée au colmatage ; mais, c'est à cette époque que les eaux sont le moins chargées en limon.

Telles sont les raisons d'ordre favorable et défavorable que nous pouvons ici énumérer, en ce qui concerne l'exécution de tels projets. Les documents accumulés sur la Durance permettent assurément de se rendre un compte exact de leur praticabilité.

TABLEAUX.

Tableau IV. — Échantillons moyens mensuels des limons de la Durance recu
(Analyses su

DATES DES PRISES D'ÉCHANTILLONS.	MAI.		JUIN.		JUILLET.	
POIDS DE LIMON PAR MÈTRE CUBE D'EAU EN KILOGRAMMES. . . .	0k,940		0k,953		0k,1698	
COULEUR DU LIMON HUMIDE . . .	Gris.		Gris.		Gris.	
I. Analyse physique	Sable : 18.00	siliceux. 9.84	Sable : 14.95	siliceux. 8.08	Sable : 13.60	siliceux.
		calcaire. 8.16		calcaire. 6.87		calcaire.
	Impalpable : 82.00	siliceux. 44.36	Impalpable : 85.05	siliceux. 44.92	Impalpable : 86.40	siliceux.
		calcaire. 37.64		calcaire. 40.13		calcaire.
TOTAUX		100.00		100.00		
II. Analyse chimique :						
α Partie attaquée par les acides, à chaud. Acide phosphorique.	0.098		0.143		0.137	
Acide carbonique. .	20.170		20.280		18.330	
Potasse	0.229		0.245		0.152	
Soude	0.106	54.056	0.090	53.798	0.063	49.186
Chaux	25.080		25.440		23.260	
Magnésie.	1.113		1.760		0.864	
Alumine.	4.130		3.150		3.535	
Sesquioxyde de fer .	3.130		2.690		2.845	
β Insoluble. Silice et silicates (dont potasse)		43.464		43.484	(1.81)	47.120
γ Matières organiques, eau des hydrates, corps non dosés (dont azote)	(0.075)	2 480	(0.072)	2.718	(0.096)	3.694
TOTAUX		100.000		100.000		100.000
Carbonate de chaux (d'après le dosage de la chaux) . .	44.78		45.023		41.53	

Tableau V. — Limons des plus grands troubles de la Durance recu
(Analyses su

DATES DES PRISES D'ÉCHANTILLONS.	15 JUIN.	
POIDS DE LIMON PAR MÈTRE CUBE D'EAU EN KILOGRAMMES	3k,558	
COULEUR DU LIMON HUMIDE.	Jaune puis jaune fonc	
I. Analyse physique.	Sable : 12.79	siliceux.
		calcaire.
	Impalpable : 87.21	siliceux.
		calcaire
TOTAUX		
II. Analyse chimique :		
α Partie attaquée par les acides, à chaud. Acide phosphorique.	0.078	
Acide carbonique	19.120	
Potasse.	0.274	
Soude	0.084	50.605
Chaux	23.800	
Magnésie.	0.999	
Alumine	3.280	
Sesquioxyde de fer	2.970	
β Insoluble. Silice et silicates (dont potasse).	(1.50)	45.984
γ Matières organiques, eau des hydrates, corps non dosés (dont azote).	(0.070)	3.411
TOTAUX		100.000
Carbonate de chaux d'après le dosage de la chaux.	42.494	

2 dans le bassin de division des canaux de Craponne à Lamanon.
n sec.)

AOUT.	SEPTEMBRE.	OCTOBRE.	NOVEMBRE.
2k,4505 Gris jaunâtre.	0k,1655 Gris jaunâtre.	3k,108 Gris assez foncé.	0k,693 Gris.
le : siliceux. 8.68 15 calcaire. 5.47 able : siliceux. 55.72 85 calcaire. 30.13 100.00	Sable : siliceux. 14.94 25.6 calcaire. 10.66 Impalpable : siliceux. 43.16 74.4 calcaire. 31.24 100.00	Sable : siliceux. 9.07 15.89 calcaire. 6.82 Impalpable : siliceux. 52.43 84.11 calcaire. 31.68 100.00	Sable : siliceux. 10.77 20.13 calcaire. 9.36 Impalpable : siliceux. 46.83 79.87 calcaire. 33.04 100.00
0.122 15.840 0.364 0.099 19.150 } 46.460 0.955 » 9.930	0.140 18.480 0.364 0.148 22.913 } 53.021 1.156 6.160 3.160	0.104 17.060 0.273 0.048 21.260 } 48.870 1.065 5.950 3.110	0.107 19.000 0.198 0.035 23.824 } 49.853 0.994 2.620 3.080
(1.62) 49.852	(1.37) 44.644	(1.41) 47.664	46.834
(0.084) 3.688	(0.112) 2.335	(0.067) 3.466	(0.060) 3.308
100 000	100.000	100.000	100.000
34.19	40.911	37.95	42.54

92 dans le bassin de division des canaux de Craponne à Lamanon.
on sec.)

18 JUILLET.	2 AOUT.	7 OCTOBRE.	15 OCTOBRE.
19k,116 e foncé et gris jaunâtre.	25k,335 Noir et gris foncé.	37k,214 Gris foncé.	14k,380 Gris brunâtre.
le : siliceux. 6.37 .08 calcaire. 3.71 pable : siliceux. 53.63 .92 calcaire. 36.29 100.00	Sable : siliceux. 4.08 5.50 calcaire. 1.42 Impalpable : siliceux. 72.42 94.50 calcaire. 22.08 100.00	Sable : siliceux. 11.32 19.65 calcaire. 8.33 Impalpable : siliceux. 49.28 80.35 calcaire. 31.07 100.00	Sable : siliceux. 10.77 19.67 calcaire. 8.90 Impalpable : siliceux. 43.63 80.33 calcaire. 36.70 100.00
0.151 17.000 0.344 0.082 20.790 } 48.393 1.056 6.010 2.960	0.126 10.380 0.173 0.091 12.500 } 32.005 0.865 3.760 4.110	0.070 17.360 0.284 0.046 21.650 } 49.515 1.075 6.100 2.930	0.097 20.090 0.331 0.084 23.634 } 52.305 0.699 4.427 2.943
(1.26) 46.912	(2.80) 61.960	(1.39) 47.352	..... 43.980
(0.067) 4.695	(0.140) 6.035	(0.071) 3.133	(0.073) 3.715
100.000	100.000	100.000	100.000
37.12	22.318	38.656	42.198

Tableau VI. — Échantillons moyens des limons de curage des canaux de Crapo

(Analyse sur

DÉSIGNATION.		BRANCHE MÈRE de Craponne.	
I. Analyse physique		Sable : 72.24 { siliceux. 39.37 / calcaire. 32 87 } Impalpable : 27.76 { siliceux. 15.63 / calcaire. 12.13 }	
TOTAUX			100.00
II. Analyse chimique :			
α. Partie attaquée par les acides à chaud.	Acide phosphorique	0.094	51.197
	Acide carbonique	20.160	
	Potasse	0.086	
	Soude	0.044	
	Chaux	24.816	
	Magnésie	0.997	
	Alumine	2.580	
	Sesquioxyde de fer	2.420	
β. Insoluble. Silice et silicates (dont potasse)		(1.11)	47.972
γ. Matières organiques, eau des hydrates, corps non dosés, etc. (dont azote).		(0.040)	0.831
TOTAUX			100.000
Carbonate de chaux d'après le dosage de la chaux		44.309	

Tableau VII. — Échantillons moyens des limons de la Durai

(Analyse sur

DÉSIGNATION.		BASSIN de Ponserot.		BASSIN de Saint-Christophe.	
I. Analyse physique		Sable : 4.71 { siliceux. 2.57 / calcaire. 2.13 } Impalpable : 95.30 { siliceux. 52.93 / calcaire. 42.37 }		Sable : 15.65 { siliceux. 8.2 / calcaire. 7.5 } Impalpable : 84.35 { siliceux. 45.3 / calcaire. 39.0 }	
TOTAUX			100.00		100.0
II. Analyse chimique :					
α. Partie attaquée par les acides à chaud.	Acide phosphorique	0.102	53.597	0.084	53.941
	Acide carbonique	19.700		20.469	
	Potasse	0.180		0.242	
	Soude	0.074		0.067	
	Chaux	24.670		25.773	
	Magnésie	1.281		0.895	
	Alumine	4.421		3.271	
	Sesquioxyde de fer	3.169		3 149	
β. Insoluble. Silice et silicates (dont potasse)		(1.49)	43.524		43.040
γ. Matières organiques, eau des hydrates, corps non dosés, etc. (dont azote).		(0.050)	2 879	(0.048)	3.019
TOTAUX			100.000		100.000
Carbonate de chaux d'après le dosage de la chaux		44.05		46.024	

ueillis lors du repurgement desdits canaux au printemps 1892.
limon sec.)

BRANCHE d'Istres.	BRANCHE de Salon, Pelissane, Cornillon, Lançon.	BRANCHE d'Eyguières.
Sable : 56.37 — siliceux. 30.55; calcaire. 25.82	Sable : 60.72 — siliceux. 32.45; calcaire. 28.27	Sable : 57.15 — siliceux. 30.70; calcaire. 26.45
Impalpable : 43.63 — siliceux. 24.45; calcaire. 19.18	Impalpable : 39.28 — siliceux. 22.53; calcaire. 16.73	Impalpable : 42.85 — siliceux. 23.80; calcaire. 19.05
100.00	100.00	100.00
0.092, 19.800, 0.146, 0.164, 25.044, 1.076, 2.260, 2.970 — 51.562	0.087, 19.840, 0.156, 0.163, 25.120, 0.823, 0.910, 3.760 — 50.699	0.099, 20.050, 0.094, 0.059, 24.790, 0.605, 2.830, 2.430 — 50.957
(1.12) 45.228	(1.11) 45.828	(1.12) 46.772
(0.055) 3.220	(0.050) 3.473	(0.063) 2.271
100.000	100.000	100.000
44.716	44.85	44.262

ueillis dans les bassins de décantation du canal de Marseille.
limon sec.)

BASSIN de Réaltort.	BASSIN de Sainte-Marthe.	VASE d'une caisse de distribution d'eau à Marseille. (Dépôt de trois ans.)
Sable : 13.63 — siliceux. 7.35; calcaire. 6.28	Sable : 10.05 — siliceux. 5.75; calcaire. 4.30	Sable : 32.75 — siliceux. 19.30; calcaire. 13.45
Impalpable : 86.37 — siliceux. 47.85; calcaire. 38.52	Impalpable : 89.95 — siliceux. 49.84; calcaire. 40.11	Impalpable : 67.25 — siliceux. 40.70; calcaire. 26.55
100.00	100.00	100.00
0.089, 19.800, 0.207, 0.070, 25.008, 1.482, 3.519, 3.471 — 53.656	0.137, 19.540, 0.185, 0.110, 23.847, 1.392, 3.719, 3.311 — 52.741	0.179, 18.000, 0.484, 0.087, 22.890, 1.031, 5.050, 3.040 — 50.761
42.112	44.856	41.952
(0.041) 4.242	(0.076) 2.403	(0.135) 7.287
100.000	100.000	100.000
44.65	42.57	40.87

Tableau VIII. — Terres formées par des apports limoneux récents de la Durance.

DÉSIGNATION.	MEYRARGUES.					
	SOL SABLEUX conquis sur la Durance au domaine de Saint-Payré.			SOL LIMONEUX formé derrière la digue du chemin de fer au domaine de Saint-Payré.		
I. Analyse physique	Sable	76.95	siliceux	39.07	Sable	29.24	siliceux	30.70
			calcaire	37.88			calcaire	13.22
	Impalpable	23.05	siliceux	14.43	Impalpable	70.76	siliceux	40.08
			calcaire	8.62			calcaire	30.68
TOTAUX				100.00				100.00
II. Analyse chimique :								
α Partie attaquée par les acides à chaud. Acide phosphorique		0.105				0.113		
Acide carbonique		20.486				19.350		
Potasse		0.152				0.323		
Soude		0.032				0.078		
Chaux		25.637		52.295		23.496		52.545
Magnésie		0.619				0.924		
Alumine		2.460				4.745		
Sesquioxyde de fer		2.810				2.995		
β Insoluble. Silice et silicates (dont potasse)				46.204				43.732
γ Matières organiques, eau des hydrates, corps non dosés (dont azote)		(0.046)		1.501		(0.078)		3.733
TOTAUX				100.000				100.000
Carbonate de chaux d'après le dosage de la chaux				45.77				42.834

Tableau IX. — Volumes d'eau et de limon débités par la rivière de Durance au pont de Mirabeau, d'après les observations de MM. les ingénieurs des ponts et chaussées des Bouches-du-Rhône.
(Unité = 1 million de mètres cubes.)

ANNÉES.	AVRIL.		MAI.		JUIN.		JUILLET.		AOUT.		SEPTEMBRE.		SEMESTRE d'été (période des arrosages).		SEMESTRE d'hiver.		ANNÉE entière.	
	Eau.	Limon.	Eau.	Limon.	Eau.	Limon.	Eau.	Limon.	Eau.	Limon.	Eau.	Limon.	Eau.	Limon.	Eau.	Limon.	Eau.	Limon.
1875.	516,892	0,299	705,710	0,689	585,851	1,439	600,131	1,649	282,318	0,803	201,212	0,095	2892,116	4,974	1847,306	1,037	4739,423	6,011
1876.	1024,956	1,067	1124,718	1,075	1299,266	4,090	712,725	1,011	336,862	1,116	190,814	0,0118	4689,342	8,372	2092,017	4,632	6781,359	13,015
1877.	748,539	0,423	1320,171	3,841	1628,758	3,379	774,872	0,675	351,300	0,300	252,142	0,0178	5075,783	8,637	1986,076	1,675	7061,860	10,312
1878.	741,397	0,861	777,668	0,641	559,097	1,120	296,956	0,149	273,974	0,145	172,284	0,0097	2824,378	2,927	2261,183	2,727	5085,562	5,654
1879.	1128,366	1,895	878,114	1,536	1417,727	1,831	747,079	0,685	387,067	0,100	322,344	0,276	4880,699	6,323	1958,470	0,369	6839,169	6,693
1880.	275,564	0,039	414,115	0,158	547,560	0,663	373,559	0,219	314,316	1,125	438,566	0,958	2363,680	3,223	2142,174	1,209	4505,854	4,432
1881.	832,308	1,423	627,359	0,277	692,876	0,283	528,932	0,061	472,292	1,427	442,605	0,337	3595,772	3,859	2943,138	0,712	6538,916	4,572
1882.	475,986	0,020	1021,257	1,182	402,282	0,025	250,815	0,271	167,101	0,030	447,851	0,715	2765,392	2,243	3965,965	3,662	6731,357	5,906
1883.	630,011	0,133	961,051	0,633	1048,049	0,848	809,924	0,555	418,885	0,286	341,915	0,479	4209,856	2,906	7572,966	0,923	6782,823	3,829
1884.	303,402	0,084	406,497	0,470	700,358	0,507	507,237	0,286	353,656	0,233	407,674	0,880	2678,826	2,462	1215,237	0,065	3894,063	2,528
1885.	564,411	0,871	785,751	0,508	922,773	0,617	504,551	0,317	343,795	0,716	487,354	2,259	3608,638	5,491	3429,718	2,734	7038,356	8,226
1886.	582,260	0,145	682,327	0,291	624,856	0,285	459,445	0,151	312,068	0,074	344,520	0,947	3005,447	1,895	4224,625	8,192	7230,071	10,088
1887.	391,850	0,041	385,741	0,059	709,674	0,717	544,454	0,376	334,519	0,280	356,107	0,854	2702,348	2,329	2027,013	0,854	4729,362	3,184
1888.	498,183	0,203	690,128	0,429	640,016	0,746	400,468	0,190	206,677	0,178	183,714	0,092	2619,188	2,040	1794,282	1,029	4413,470	3,070
1889.	354,796	0,055	838,016	0,427	945,999	1,050	635,257	0,408	310,679	0,024	235,034	0,005	3319,733	2,171	2146,996	2,366	5466,779	4,538
Moyenne des 15 années . . .	604,595	0,505	774,575	0,838	848,343	1,105	543,087	0,467	324,367	0,456	320,436	0,529	3416,750	3,990	2439,812	2,144	5856,562	6,134

Tableau X. — Coefficients mensuels des poids de limon constatés dans l'eau de la Dura par MM. les ingénieurs des po

ANNÉES des observations.	SEMESTRE D'ÉTÉ. — SOMME MENSUELLE DES COEFFICIENTS QUOTIDIENS représentant le poids de limon par mètre cube. (Les poids inscrits correspondent à autant de mètres cubes que de jours dans la durée du mois.)							
	Avril (30 jours).	Mai (31 jours).	Juin (30 jours).	Juillet (31 jours).	Août (31 jours).	Septembre (30 jours).	Totaux du semestre (183 jours).	Moyen de lim par mètre c dans le semes
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
1868 B.	7,631	94,990	144,650	140,170	228,540	61,305	677,286	3,70
1869.	6,470	42,732	15,960	48,670	37,950	42,420	194,212	1,06
1870.	3,000	69,610	47,500	71,610	115,130	101,750	408,600	2,23
1871.	3,270	26,580	33,830	5,360	76,310	101,760	247,110	1,35
1872 B.	20,540	71,530	46,150	13,560	39,100	7,960	198,840	1,08
1873.	10,700	20,310	43,240	30,330	25,440	18,390	148,410	0,81
1874.	6,849	8,310	15,462	137,716	70,686	19,873	258,896	1,41
1875.	21,502	42,262	89,558	61,101	65,069	17,062	296,554	1,62
1876 B.	36,259	38,344	97,973	47,147	115,881	2,547	338,451	1,84
1877.	15,659	73,551	75,108	39,927	26,968	2,403	233,626	1,27
1878.	35,891	31,482	54,631	21,965	23,402	2,153	169,524	0,92
1879.	37,243	27,447	55,838	31,987	11,320	34,035	197,870	1,08
1880 B.	5,355	16,304	34,057	23,935	97,386	89,827	266,864	1,45
1881.	35,368	17,575	17,008	5,096	33,125	25,911	134,083	0,73
1882.	1,745	30,642	2,049	34,582	5,672	47,150	121,840	0,65
1883.	8,912	28,306	32,981	26,783	28,572	53,211	178,765	0,97
1884 B.	12,288	35,886	24,847	21,146	25,943	68,773	188,883	1,03
1885.	23,430	23,670	28,375	28,787	74,164	131,860	312,286	1,67
1886.	9,892	16,121	18,176	12,680	9,907	99,023	165,799	0,90
1887.	3,689	6,041	43,507	33,102	35,631	76,508	198,478	1,084
1888 B.	14,973	28,430	48,019	17,303	22,340	21,547	152,612	0,833
1889.	5,404	33,223	46,994	26,006	3,580	0,908	116,115	0,634
MOYENNE de limon par mètre cube.	0,494	1,149	1,537	1,288	1,718	1,355	1,293	1,293

ont de Mirabeau, d'après les expériences faites quotidiennement, durant 22 années, haussées des Bouches-du-Rhône.

SEMESTRE D'HIVER. — SOMME MENSUELLE DES COEFFICIENTS QUOTIDIENS représentant le poids de limon par mètre cube. (Les poids inscrits correspondent ainsi à autant de mètres cubes d'eau que de jours dans le mois.)								ANNÉE entière.		POIDS DE LIMON CHARRIÉ par un canal de 1 mètre cube de portée par seconde, en supposant l'entraînement intégral du limon et nulle période de chômage. — Dans l'année entière, tonnes de limon.
obre ours)	No-vembre (30 jours)	Dé-cembre (31 jours)	Janvier (31 jours)	Février (28 ou 29 jours).	Mars (31 jours)	Totaux du semestre (182 jours pour années ordinaires, 183 jours pour années bissextiles).	Moyenne de limon par mètre cube dans le semestre.	Totaux pour le limon des 365 ou 366 jours de l'année.	Poids moyen du limon par mètre cube dans l'année complète.	
g	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	ton. kg
615	5,209	4,075	0,971	0,005	11,110	118,985	0,650	796,271	2,1756	68,797 793
040	40,830	14,540	6,160	2,485	8,210	91,265	0,501	285,477	0,7547	23,790 219
070	122,630	6,040	1,510	10,590	18,350	206,240	1,133	614,840	1,6829	53,071 934
170	37,470	2,950	4,705	3,480	4,610	84,385	0,463	331,495	0,9082	28,640 995
300	10,540	45,610	14,840	4,870	4,470	253,630	1,386	452,470	1,2362	39,091 116
790	42,970	0,049	6,843	2,283	27,200	148,135	0,809	296,545	0,8124	25,619 846
128	0,990	22,204	0,200	4,495	1,845	82,862	0,455	341,758	0,9365	29,533 464
,739	6,681	1,346	14,594	1,572	5,674	85,606	0,467	382,160	1,047	33,018 192
,015	22,148	33,520	1,528	0,599	78,973	146,783	0,802	485,254	1,3258	41,924 977
,029	40,310	1,357	1,458	0,141	35,349	86,644	0,476	320,270	0,8774	27,669 686
,664	32,767	10,938	0,753	0,348	11,176	91,646	0,503	261,167	0,7155	22,155 488
,438	2,591	0,736	5,678	2,942	10,929	24,314	0,133	222,184	0,6087	19,195 963
,432	36,270	0,177	0,102	14,650	1,841	68,475	0,374	335,339	0,9162	28,972 442
,863	12,848	3,460	7,930	6,843	14,227	62,171	0,341	196,254	0,5376	16,953 753
,077	8,686	15,448	3,979	1,677	2,886	85,753	0,471	207,593	0,5687	17,934 523
,700	21,606	0,158	4,761	3,234	4,683	64,142	0,352	242,907	0,6655	20,987 208
,190	0,166	9,070	0,064	0,162	0,409	35,061	0,191	223,944	0,6118	19,346 584
,527	10,137	1,382	0,456	41,747	0,930	112,179	0,616	424,465	1,1629	36,673 234
,827	44,337	22,695	6,531	3,745	14,456	188,591	1,036	354,390	0,9709	30,618 302
,979	30,908	5,515	1,284	1,296	7,553	54,535	0,299	253,013	0,6932	21,860 755
,775	42,615	23,376	0,840	4,503	24,477	114,616	0,626	267,728	0,7301	23,087 514
,373	33,916	0,839	15,483	0,336	8,442	119,389	0,656	235,504	0,6452	20,347 027
,441	0,919	0,330	0,147	0,180	0,436	0,5799	0,5799	0,937	0,937	

ÉTUDE

SUR

LA COMPOSITION DES TERRES DE LA CAMARGUE

LA COMPOSITION DES SABLES

DU CORDON LITTORAL RHODANIEN

LA NATURE DU SALANT DE LA CAMARGUE

Par M. G. GASTINE

Formation et description générale de la Camargue.

On désigne sous le nom de *Camargue* le territoire compris entre les deux bras du Rhône qui prennent naissance en face le village de Fourques, un peu au nord d'Arles. Le grand Rhône coule presque directement au sud-est, tandis que le petit Rhône fait un grand détour vers l'ouest et décrit plusieurs méandres avant de se diriger vers le sud pour se jeter à la mer. La Camargue proprement dite, comprise entre ces bras inégaux du fleuve, forme un vaste triangle dont la base se termine irrégulièrement dans la mer par des terres à peine émergées, coupées de lagunes et d'étangs salés, de dunes, formations dont l'ensemble constitue le cordon littoral.

Au point de vue agrologique, et géologique la Camargue est beaucoup plus étendue, car elle comprend l'ensemble du delta rhodanien. On doit y rattacher, en effet, à l'est du grand Rhône, le petit

et le grand plan du Bourg, ainsi que les marais qui bordent la Crau; à l'ouest du petit Rhône, non seulement la petite Camargue, mais aussi une portion étendue du territoire d'Aigues-Mortes. Les véritables limites du delta sont: à l'est, la Crau ; à l'ouest, la costière de Saint-Gilles et les plaines d'alluvions du Vistre et du Vidourle, qui se confondent avec les sols formés par les limons du Rhône au voisinage d'Aigues-Mortes et du Grau-du-Roi.

La Camargue vraie comprend environ 75 000 hectares ; en y ajoutant les terres de même origine qui appartiennent au delta, sa surface atteint près de 142 000 hectares.

A l'inverse de la Crau, dont le mode de formation est demeuré longtemps et reste encore à certains égards un problème pour les géologues, qui y voient tantôt exclusivement le delta torrentiel pliocène de la Durance, tantôt le delta de même âge du Rhône, la formation de la Camargue n'offre aucun mystère. Elle se poursuit, en effet, sous nos yeux, aux embouchures actuelles du fleuve et daus des conditions semblables à celles des premiers temps où elle a commencé. Ce sont les limons et les sables charriés par la masse énorme des eaux du fleuve (54 milliards de mètres cubes, d'après Surell) qui, au contact des eaux marines, se déposent en formant auprès des bouches des hauts-fonds ou atterrissements, longtemps remaniés par la vague et les crues, avant d'atteindre leur consolidation sous forme d'un cordon littoral stable. La quantité de limons annuellement apportés par le Rhône a été évaluée par Surell à 21 millions de mètres cubes. Les quatre cinquièmes de ces matériaux sont transportés par la branche principale ou grand Rhône ; c'est donc surtout dans l'axe du grand Rhône, dans le golfe de Fos, que le travail de comblement est énergique. L'avancement des terres émergées a été en moyenne, depuis 1737 et dans cette direction, d'environ 57 mètres par année. L'espace annuellement conquis sur la mer correspond à une vingtaine d'hectares.

Le petit Rhône, dont le courant est bien moins vif, ne charge guère son embouchure. Les courants marins transportent sur le cordon littoral et en particulier vers la pointe de l'Espiguette les sables qu'il apporte. Suivant M. Charles Martens et M. Lenthéric, les progrès de cette plage sont tels que, s'ils se maintiennent, la pointe en ques-

tion atteindra dans deux mille ans la plage de Palavas, transformant en lagune la rade actuelle d'Aigues-Mortes.

Ce gigantesque atterrissement a été précédé par la formation du delta pliocène qui constitue actuellement les terrasses caillouteuses de la Crau, des coteaux de Saint-Gilles, et qui bordent tout le littoral jusqu'au delà de Montpellier. Ces dépôts pliocènes se continuent sous la Camargue ; en creusant dans le delta quaternaire des puits artésiens, on a rencontré la couche caillouteuse du delta torrentiel primitif. Les progrès de cet atterrissement, qui a comblé à l'origine l'estuaire ou ancien golfe de Beaucaire, ont été considérables ; sans remonter bien haut dans la période historique, on peut en quelque sorte les mesurer.

Les vestiges de l'époque gallo-romaine qui ont été rencontrés en Camargue permettent, en effet, d'évaluer à 250 ou 300 kilomètres carrés l'accroissement survenu dans le delta depuis cette période historique. La ville romaine d'Arles était, d'après M. Lenthéric, un grand port militaire et commercial en communications multiples avec la mer, non seulement par les bras du Rhône, bien plus courts que ceux actuels, mais encore par les lagunes salées, les marais et les étangs qui l'entouraient. « Le Rhône fougueux, écrivait Ammien Marcellin vers le milieu du IVe siècle, se jette dans la mer des Gaules par une large embouchure, dans le fond d'un golfe, à 18 milles de distance d'Arles. » Ce serait donc à peine 27 kilomètres ; il y en a aujourd'hui plus de 50[1].

Les bras du Rhône ont subi, dans le cours des temps, de grands déplacements ; ils ont été autrefois plus nombreux. Pline en a désigné trois ; des auteurs plus anciens, jusqu'à cinq. Quelques-uns de ces vieux lits sont encore apparents. Telle une branche occidentale du fleuve qui aboutissait à l'étang de Mauguio. Plus près de l'époque actuelle, le petit Rhône avait son embouchure vers la pointe de l'Espiguette. Il s'est transporté vers l'est, auprès des Saintes-Maries, laissant à l'ouest la petite Camargue qu'il enveloppait naguère.

Le grand Rhône versait autrefois ses eaux dans l'étang de Galejon

---

1. Ch. Lenthéric, *La Région du Bas-Rhône*, et, du même auteur, *Les Villes mortes du golfe de Lyon, la Grèce et l'Orient en Provence.*

et son passage est tracé par la dépression dite du *Bras mort*. Avant 1711, ce même Rhône suivait une route inverse en coulant à l'ouest dans la dépression sinueuse du *Bras de fer* et du *Canal du Japon*, très manifeste encore, et aboutissait vers la pointe de Beauduc. Mais, à la suite d'une crue subite, le Bras de fer, engorgé de limons, ne put offrir un passage suffisant aux eaux gonflées du fleuve, qui s'ouvrit inopinément une voie nouvelle dans un canal artificiel que la faute d'un éclusier avait laissé libre, le canal des Lônes. C'est le passage direct que le grand Rhône a, depuis lors, conservé.

L'accroissement des terres aux embouchures du fleuve a lieu par la coagulation rapide des limons et par le dépôt des sables. M. Schlœsing a montré que l'argile en suspension dans l'eau douce était rapidement coagulée et précipitée par les dissolutions salines, telles que l'eau de la mer. La perte de vitesse des eaux limoneuses au moment de leur pénétration dans la mer ajoute à la facilité de ces dépôts. Il se forme ainsi, en avant des embouchures, des îlots vaseux ou theys (de θίς, amas de sables) d'abord fragiles et mobiles. Le nom des divers theys indique les circonstances qui ont accompagné leur formation. Le plus souvent, c'est un navire échoué sur un haut-fond ou quelque épave de plus minime importance. Le moindre abri peut, en effet, déterminer l'apparition de ces bancs et favoriser leur émergence en les protégeant dans une certaine mesure contre l'influence destructive du fleuve et de la mer. Les theys de la Tartane, de la Balancelle sont des désignations significatives ; ceux d'Annibal, de Roustan, d'Eugène correspondent aux noms de navires échoués sur les bancs ou hauts-fonds de l'embouchure. Un chargement de brai, en provençal *pego*, échoué à la pointe pu grand Rhône, a formé la première amorce du they de *Pégoulier*.

Du côté de la mer, les îlots à fleur d'eau ou theys se garnissent, sous l'effet des vagues, d'un bourrelet sableux qui constitue le début de la plage. Les courants littoraux tendent à disposer cette plage transversalement au cours du fleuve, en formant la ligne du cordon littoral, ligne étroite à l'origine et laissant derrière elle des lagunes salées. Lors des crues du fleuve, les dépôts sableux les plus lourds s'arrêtent sur les hauts-fonds du they et les consolident en les chargeant. Les limons pénètrent dans les lagunes et les exhaussent.

Quelques plantes salées se fixent sur les parties émergeantes en y formant des *radeaux* ou *touradons*, qui augmentent la stabilité du sol et favorisent la retenue de nouveaux dépôts lors des crues. Les sables de la plage, chassés par le vent, s'arrêtent dans les touffes de salicornes herbacées, tout à fait naines au début. Cet apport éolien joue un grand rôle dans la consolidation du cordon littoral[1]. Plus tard, la végétation s'établit plus complète, avec des buissons arbustifs, à mesure que le sol se relève sous forme de dune. La végétation est ainsi le point de départ de la dune.

Des graus (*gradus*) ou passages existent entre les theys ; ce sont des ouvertures que le courant du fleuve maintient : tels étaient les graus de Piemanson, de Roustan, qui furent fermés en 1857 au moment de la construction des digues du Rhône. L'ingénieur Surell espérait, en fermant ces issues, augmenter le courant du fleuve dans la passe principale et rompre ainsi la barre qui formait un dangereux obstacle pour la navigation. La barre se reforma plus loin, sans que la situation fût améliorée.

C'est alors que fut créé le canal de Saint-Louis au Rhône, magnifique chenal aboutissant dans le golfe de Fos. Cette œuvre est compromise maintenant par le travail incessant du fleuve, qui a comblé en partie le golfe de Fos. Dans ces derniers temps, on a tenté de retarder l'invasion des dépôts en ouvrant les graus fermés en 1857. Il ne paraît point que les efforts faits pour détourner le fleuve de la voie directe qu'il suit depuis longtemps aient abouti. Un nouveau et vaste projet dont l'étude est terminée, paraît devoir apporter une solution plus complète : c'est celui du canal de Marseille au Rhône, à travers l'étang de Berre. Pour atteindre le Rhône, ce canal de navigation doit emprunter la dépression de l'ancien lit du Rhône connue sous le nom de *Bras mort*.

Tels sont les phénomènes d'atterrissement qui, pendant la durée des siècles, ont constitué le delta étendu du Rhône actuel. Les terres ont surgi peu à peu du domaine maritime par la réunion des theys

---

1. MM. Flahaut et Combres : Observations sur la part qui revient au cordon littoral dans l'exhaussement actuel du delta du Rhône. (*Bulletin de la Société languedocienne de géographie*, 1894, p. 8.)

qui, successivement, ont pris naissance aux embouchures du fleuve. La mer a façonné ces îlots en les disposant en forme de cordon littoral, de lignes de dunes, que la végétation a fixées progressivement, laissant persister en arrière des lagunes et des étangs salés, que les débordements du fleuve venaient par moment colmater et exhausser. Par un phénomène commun dans toutes les parties basses des vallées, où la pente disparaît, ces crues avaient pour résultat l'exhaussement des berges du fleuve et de son lit, par le dépôt des sables les plus lourds que le courant ne pouvait charrier. L'encombrement du lit amenait des ruptures dans ces digues naturelles, entraînant les diramations du fleuve et sa division en branches multiples. L'action colmatante s'est portée toujours en avant par suite de ces digues naturelles, et l'extension du delta s'est surtout faite sur les points extrêmes : à l'ouest dans les temps anciens, à l'est, au contraire, durant la période historique. La région centrale est restée en dehors des apports colmatants, comme le montre l'existence du Vaccarès et des étangs salés inférieurs qui en forment les dépendances jusqu'à la mer. L'endiguement naturel des bras du Rhône a d'ailleurs, depuis longtemps, subi des compléments artificiels de la part de l'homme. Avant même que le système des digues insubmersibles fût établi en 1857, le fleuve n'avait plus d'action sensible sur son delta intérieur, et il ne pouvait que fournir des éléments de consolidation pour le cordon littoral. Ces phénomènes sont classiques et bien connus des géologues ; ils constituent l'histoire de tous les deltas dans les mers intérieures sans marées.

Les lignes de dunes que l'on rencontre jusqu'au sommet du delta montrent les positions occupées successivement par le littoral. Un de ces cordons littoraux anciens est particulièrement manifeste depuis Fos jusqu'à Aigues-Mortes en traversant le Vaccarès, où les radeaux boisés (dunes basses) du Riège en constituent les vestiges très accusés, orientés de l'est à l'ouest dans la direction du rivage.

La salure extrême des terres de Camargue s'explique aisément par leur mode de formation et surtout par l'aridité du climat. Les alluvions qui ont formé le delta ont été non seulement imprégnées d'eau de mer dans toute leur épaisseur, qui est considérable, mais encore cette eau s'est concentrée sur place, en arrière du cordon

littoral, dans les lagunes, les étangs salés, les baisses, que des coups de mer remplissaient et que le climat aride desséchait. Le régime des vents secs (N. et N.-O.) pendant une grande partie de l'année et l'insuffisance des pluies favorisent les phénomènes d'ascension capillaire, c'est-à-dire la formation des efflorescences salines ou *sansouïres*. A vrai dire, ces phénomènes d'évaporation justifient amplement, à eux seuls, la salure des terres, même dans les parties les plus anciennement émergées. C'est par l'aridité du climat que les terres salées de la Méditerranée diffèrent le plus des polders de l'Océan du Nord.

Depuis 1857, des digues élevées et continues ont été établies le long des bras du Rhône afin de préserver les terres riveraines contre les débordements du fleuve. Mais, bien avant cette construction, les berges avaient été endiguées plus ou moins complètement par les propriétaires des terres hautes, qui avaient beaucoup à gagner à cette protection. L'ensemble du pays, formé de terres basses, est depuis longtemps privé de l'influence délayante et colmatante des eaux douces. L'œuvre coûteuse des endiguements du Rhône demande un complément indispensable, c'est-à-dire un système général d'irrigation et de drainage. Ne doit-on pas considérer comme une anomalie des plus choquantes le voisinage immédiat des masses d'eaux douces qui se perdent depuis des siècles à la mer et qui entourent ce territoire salé où leur emploi est le seul remède pour faire cesser sa désolante aridité? Les débordements du fleuve, à côté de leurs inconvénients, avaient du moins cette heureuse influence d'élever le niveau des terres et de les débarrasser superficiellement du sel de temps à autre.

Au nord du delta, les terres atteignent le niveau élevé de 4 mètres au-dessus de la Méditerranée. Ce niveau se maintient sur une assez grande longueur le long des bras du fleuve, par suite des dépôts sablonneux qu'il a laissés sur ses berges au moment des crues. Ces sols, bien perméables et exempts de sel, sont naturellement les meilleurs de la Camargue. La carte de l'État-major figure en teinte claire la plupart des terres élevées, dont l'origine remonte ainsi aux colmatages les plus directs du Rhône ou de ses dérivations.

Au centre de la Camargue se trouve l'étang salé du Vaccarès, qui

en forme la dépression principale. Le fond de sa cuvette est à $1^m,20$ au-dessous du niveau de la mer ; sa surface est d'environ 6 480 hectares. Plane et basse comme une plage du côté ouest, la côte de cette petite mer intérieure est au contraire abrupte et découpée au nord et à l'est. Le Vaccarès est en communication avec les marais par des canaux d'écoulage ou égouts. Les marais reçoivent eux-mêmes les écoulages des terres de la Camargue moyenne et supérieure ; leur superficie atteint environ 8 000 hectares. En hiver, le Vaccarès se remplit plus ou moins complètement, mais, vers le milieu de l'été, l'évaporation est généralement assez active pour le dessécher presque complètement, ainsi que les étangs salés inférieurs, moins profonds, qui en forment les dépendances jusqu'au cordon littoral actuel. La salure du Vaccarès est très forte ; aussi toute cette surface desséchée se couvre-t-elle, l'été, d'une croûte cristalline d'un blanc éclatant. Les étangs inférieurs sont au niveau de la mer et étaient autrefois en communication permanente avec elle par des pertuis ou graus naturels, découpant le cordon sableux du littoral. La Méditerranée avait ainsi accès jusqu'au Vaccarès et remplissait sa cuvette lorsque son niveau s'élevait sous l'influence des vents du large. Les dunes du cordon littoral se sont trouvées gênées dans leur formation par ces incursions des eaux marines qui en rompaient les digues naissantes. La salure du Vaccarès ne pouvait que s'accroître dans ces conditions qui en faisaient un vaste marais salant. Une digue a été maintenant érigée en arrière de la plage, à travers les étangs inférieurs, pour empêcher cette pénétration des eaux marines et permettre d'utiliser la dépression du Vaccarès pour le drainage général des marais et des terres. Cet ouvrage s'étend sur une longueur d'environ 45 kilomètres, formant un levadon continu de $2^m,20$ de hauteur au-dessus de la mer, hauteur suffisante pour arrêter les eaux marines soulevées par les tempêtes du large. La digue à la mer est la seule chaussée ou route praticable à travers cette région sauvage et désolée de la basse Camargue. Dans les parties qui traversent les anciennes baies ou lagunes faisant communiquer autrefois les étangs avec la mer, la digue est protégée par des remparts de pilotis et de fascines disposés pour empêcher l'action érosive des vagues. Une large issue fermée par des vannes permet de laisser écouler à la mer

le trop-plein du Vaccarès et des étangs inférieurs. Cet ouvrage contribuera à affermir le cordon littoral en empêchant la circulation des eaux à travers les pertuis et les baisses qui étaient librement ouvertes vers la mer.

La digue à la mer a coûté 1 200 000 fr. Son entretien incombe au syndicat des propriétaires de la Camargue, intéressés à maintenir l'intégrité des écoulages dans la cuvette du Vaccarès.

Nous aurons décrit sommairement l'aménagement des eaux dans la Camargue, en signalant les roubines qui la traversent en empruntant l'eau sur l'une ou l'autre des branches du fleuve, à travers les digues, pour desservir sur leur parcours de nombreux domaines. Ces dérivations sont entretenues par des syndicats d'arrosage dont la création est fort ancienne. Mais le niveau auquel s'alimentent la plupart des roubines et la faible pente dont elles disposent, ne permettent point d'utiliser ces dérivations pendant tout le cours de l'année. Lorsque les eaux du Rhône sont basses, beaucoup de ces prises sont à découvert ; l'eau fait alors défaut, même pour l'alimentation des animaux.

Ces syndicats se sont reconstitués dans le but d'améliorer leurs prises et de les alimenter en basses eaux par de puissantes installations mécaniques établies contre les digues du Rhône. Beaucoup de propriétaires isolés ont eux-mêmes créé, pour la submersion des vignobles, l'établissement de rizières, l'irrigation des prairies, des dérivations importantes, capables de puiser en tout temps dans le Rhône.

Cet emploi abondant de l'eau est le seul remède à opposer au salant. Mais il n'est pas sans inconvénient pour les propriétés voisines. Les eaux douces lancées dans les terres les lavent, mais en chassant dans le sous-sol les sels nuisibles. A défaut de drainages et d'écoulages convenables, ces eaux charrient le sel dans le sous-sol des domaines voisins, et cela dans un rayon souvent fort écarté. L'existence de sous-sols formés quelquefois de sables très perméables, recouverts par des alluvions argileuses, explique ces mouvements et ces déplacements d'eaux salées souterraines, dont l'ascension vient causer de graves dommages. Aussi peut-on dire que toute irrigation et submersion réclament, en Camargue, des drainages et des écoulages

correspondants très parfaits. Lorsque le niveau des terres est insuffisant pour les obtenir par pente naturelle, il est nécessaire de creuser des fossés profonds dans lesquels peuvent se réunir les eaux salées provenant du lavage du terrain. Ces eaux sont reprises ensuite et élevées à un niveau supérieur pour être éliminées par des canaux de vidange aboutissant à la mer ou au Vaccarès.

Telle est l'installation de plusieurs domaines importants de la basse Camargue, installation qui a permis de mettre en valeur de vastes surfaces de terres basses occupées par des sansouïres, et qui sont à présent transformées en prairies irriguées ou en vignobles submergés. Mais l'irrigation, dans de telles conditions, est beaucoup plus onéreuse; c'est toutefois le seul moyen d'accroître la profondeur utile de terres salées dont le niveau n'est guère supérieur à celui de la mer.

Les cultures de la Camargue se résument en celles des céréales, des prairies naturelles et artificielles, enfin, et surtout, en celle des vignes. D'immenses espaces incultes, occupés par la steppe salée, plaine de salsolacées et de sansouïres, servent à l'élevage des moutons, qui est assez important. Les manades de bœufs et de chevaux sauvages (races camarguaises) sont plus rares qu'autrefois et tendent à se réduire de plus en plus.

Les céréales sont réservées aux terres suffisamment élevées ou préalablement lavées et longtemps soumises à l'irrigation. Par l'emploi des engrais azotés, le blé atteint des rendements de 18 à 25 hectolitres au lieu de 10 à 15 sans fumures. Les prairies irriguées fournissent 8 000 à 10 000 kilogr. de foin par hectare. Dans les années qui ne sont pas trop sèches, la luzerne, même en sol non irrigué, donne des récoltes rémunératrices, fait exceptionnel sous le climat de là Provence, où cette plante est toujours conduite à l'irrigation. Cette légumineuse tolère d'ailleurs la présence d'une faible proportion de sel.

L'établissement temporaire de rizières, essayé depuis longtemps en Camargue, doit être considéré comme un des moyens les plus rapides pour délaver les terres et les préparer à porter des prairies irriguées ou des vignes à la submersion. Deux années de maintien en rizières assurent ce résultat. Cette culture réclame, en effet, la

présence constante d'une nappe d'eau pendant la durée de la croissance de la plante. Elle exige un nivellement préalable très soigné du terrain, car, au début, après l'ensemencement du riz, en avril ou mai, une couche d'eau très mince doit seulement recouvrir le sol pour faciliter la levée des grains, qui, mal assujettis dans le sol, pourraient être déplacés par le clapotement de l'eau sous l'influence du vent. Il importe aussi de laisser la terre s'échauffer. Lorsque la plante s'élève, on augmente progressivement, jusqu'à $0^m,12$ ou $0^m,15$, l'épaisseur de la tranche d'eau. On récolte en septembre de 20 à 40 hectolitres de grain non décortiqué, d'une valeur moyenne de 15 fr. l'hectolitre[1].

Ainsi donc, la culture du riz fournit par elle-même un résultat rémunérateur, tout en permettant la transformation rapide d'un sol stérile en terres irrigables ou submersibles. Mais elle exige une excellente préparation du terrain, des nivellements, des fossés d'écoulage, des canaux d'amenée, etc., et de très grands volumes d'eau, distribués pendant la période la plus sèche de l'année. La création des rizières nécessite donc, dans les conditions actuelles du pays, un aménagement des eaux permettant d'en disposer abondamment, même en période de bas étiage du Rhône. Les riverains du Rhône ou les syndicats d'arrosants qui disposent d'installations mécaniques pour élever les eaux du fleuve peuvent seuls appliquer à leurs terres ce système si rationnel d'amélioration.

La culture de la vigne est le but vers lequel s'orientent les propriétaires de la Camargue. Une grande partie des dunes sableuses est occupée par cette plante. Les terres d'alluvion lui ont offert un milieu des plus prospères en appliquant la submersion, qui intervient à la fois pour annuler l'action phylloxérique et pour éloigner le sel.

Les vignes submergées et abondamment fumées arrivent en Camargue à d'énormes rendements: 100 hectolitres en moyenne sur beaucoup de domaines importants, mais parfois jusqu'à 200 hectolitres et plus encore sur quelques terres privilégiées. Le vignoble

---

1. *De la Mise en culture des terrains salés*, J.-J. Bosc, dans le *Bas-Rhône*, août et octobre 1892.

est constitué comme dans la plaine de l'Hérault avant l'invasion phylloxérique : il comporte en général la moitié en aramon et l'autre moitié en carignan et petit-bouschet. Ce sont là les cépages qui se comportent le mieux à la submersion. On y rencontre aussi assez fréquemment le jacquez, qui supporte les terres faiblement salées. On plante, par suite, ce cépage dans les parties humides et basses.

Les vins de la Camargue sont peu alcooliques, mais d'une grande franchise de goût. C'est bien à tort qu'on les considère souvent comme inférieurs à ceux des plaines de la région méridionale dont, en réalité, ils ne diffèrent pas.

Certaines années chaudes ont été défavorables à la vinification en provoquant des accidents de fermentation analogues à ceux qui se présentent souvent en Algérie et en Tunisie. Les progrès de l'œnologie auront raison de ces difficultés, d'ailleurs exceptionnelles.

Ainsi que les vignobles de plaines à production abondante, le vignoble de la Camargue est en mesure de traverser moins difficilement que d'autres la crise viticole actuelle, c'est-à-dire la dépréciation du prix des vins. Cependant de nombreux frais incombent aux propriétaires de cette région, dont la cote foncière est chargée de taxes spéciales pour l'entretien des travaux d'endiguement et d'arrosage. Les frais de culture de la vigne sont élevés dans ces terres limoneuses, qu'il faut constamment ameublir pour éviter l'évaporation et la remontée du salant. L'emploi des empaillages est souvent obligatoire dans le même but. Des fumures azotées copieuses sont indispensables pour accroître la fertilité du sol, pauvre en azote. Enfin, la lutte contre les parasites cryptogamiques : oïdium, antrachnose et surtout mildew, nécessite de la part des viticulteurs des soins constants et onéreux, sans compter encore d'autres fléaux, spéciaux à la Camargue, tels que celui des sauterelles. Sous tous ces rapports, la Camargue est moins bien partagée que les plaines méridionales de l'Hérault et de l'Aude, dont les parties imprégnées de salants sont bien plus réduites.

Le climat de la Camargue est rigoureux : froid et humide l'hiver, alors que ses marais et ses étangs se remplissent, il devient, au contraire, chaud et aride en été. Les vents du nord et du nord-ouest (mistral) règnent en maîtres sur ce territoire uniforme, et l'évapo-

ration intense qu'ils provoquent ramène à la surface du sol le sel que les eaux pluviales ont éloigné temporairement. Les pluies sont d'ailleurs assez peu abondantes en Camargue, irrégulières, plus rares encore dans la basse que dans la haute Camargue. Si l'on consulte les tables pluviométriques des différentes localités de la Camargue, on verra que certaines années peuvent être considérées comme offrant un climat véritablement aride. La moyenne pluviométrique annuelle est inférieure à $0^{m},500$, et l'on comprend l'influence capitale que crée ce régime d'insuffisance pluviale pour un territoire dont le sol est pénétré de sels nuisibles à la végétation.

Durant la période hivernale, les communications deviennent impraticables sur les chemins glaiseux, détrempés, qui, l'été, constituent d'excellentes pistes. L'horizontalité du sol masque jusqu'au dernier instant les obstacles, étangs salés, marais, canaux et roubines qui découpent le pays, sur lequel aucun point saillant n'apparaît ; seuls les propriétaires connaissent les passages qui sont praticables, suivant les saisons, dans cette steppe d'*enganes* et de marécages. Ces difficultés surgissent dès que l'on s'écarte des grandes voies de la circulation.

Quoique la culture de la vigne et l'extension des arrosages aient grandement modifié la Camargue, le pays reste néanmoins couvert d'immenses espaces de landes désertes, terres de parcours pour les troupeaux, dont la végétation est uniquement composée de *salicornes* ou *enganes* (*Salicornia fructicosa*, *macrostachya*, *sarmentosa*), auxquelles se mêle toujours, comme espèce dominante, l'*Atriplex portulacoides* (*fraumo* en provençal) ; çà et là, des espaces plus ou moins considérables, stérilisés par l'excès de sel, couverts d'efflorescences, s'étendent entre ces plantes. L'engane forme le fond des pacages où paissent les manades, les taureaux noirs et les chevaux blancs de Camargue [1].

Au voisinage des mas, construits près des roubines, les ombrages apparaissent, grands et majestueux par contraste avec la maigre végétation du pays. Formés d'ormeaux, de frênes, de peupliers, d'aul-

1. Ch. Flahault et P. Combres : Sur la flore de la Camargue et des alluvions du Rhône. (*Bulletin de la Société botanique de France*, t. XLI, 12 janvier 1894, p. 42.)

nes, de saules et de platanes, ils constituent souvent de véritables oasis. Le sol salé est, en effet, un obstacle à la croissance des arbres et ce n'est qu'au voisinage immédiat des digues du Rhône ou des roubines qu'ils peuvent atteindre un grand développement. Leur présence est donc un signe certain de la douceur du terrain. Seuls les tamaris supportent la présence du sel ; encore n'atteignent-ils de fortes dimensions que là où la terre n'en est que peu chargée.

Par leurs vastes étendues de sansouïres, certaines parties de la Camargue rappellent l'aspect des plaines salées de l'Afrique du Nord, les sebkras de l'Oranais et de la Tunisie. L'atmosphère moins transparente, la planitude du sol plus uniforme sur de grands espaces, causent une impression plus morne encore que celle des déserts salés africains.

Par contre, les montilles couvertes de pins parasols, qui forment dans la petite Camargue les bois de Sylve-Réal, du Clamadou, de Brasinvert, offrent des paysages d'une extrême élégance et en même temps le contraste d'une végétation puissante au milieu de launes salées et infertiles, marécageuses en hiver. A côté de cette espèce de pin, la plus précieuse de toutes, se trouve le genévrier de Phénicie (genévrier morven), plus caractéristique de la flore de Camargue, et qui domine à l'état arbustif sur les dunes basses de Riège, au sud du Vaccarès. Plus haut en Camargue, à Badet, Icard, etc., existaient des montilles également boisées en pins pignons, maintenant nivelées et converties en vignobles. Quelques beaux spécimens de ces arbres, heureusement épargnés, signalent au loin la position du Mas de Badet.

Les aspects de la Camargue sont difficiles à décrire : ils sont essentiellement changeants et plus variés que ne le ferait supposer la planitude du pays. Le ciel et les jeux de lumière qu'il présente y créent surtout l'intérêt du paysage. Les surfaces réfléchissantes des étangs, celles des sansouïres blanchies par le sel, multiplient en effet cette image. Au lever et au coucher du soleil, la morne steppe salée se pare d'un éclat oriental en s'illuminant de toutes les teintes du ciel lui-même ; mais ce brillant spectacle, qui contraste avec l'aridité du milieu, s'évanouit promptement. Pendant l'ardeur solaire, l'air

surchauffé qui s'élève de la plaine trouble la limpidité de l'atmosphère ; la vue des objets quelque peu éloignés devient indistincte et tremblante ; du même fait résultent les illusions du mirage. La monotonie de la région se manifeste dans sa désolante intégrité sous un ciel couvert. Constitués d'impressions lumineuses intenses, mais fugitives, les aspects pittoresques de la Camargue sont, par suite, difficiles à fixer.

L'uniformité de la steppe disparaît le long des anciens cours du Rhône, transformés en canaux et en roselières ; le sol lavé en profondeur y permet la croissance d'arbres magnifiques. Mais ces parties boisées sont exceptionnelles et ne représentent qu'une faible superficie par rapport à l'ensemble de la région.

La Camargue était autrefois très fiévreuse. Elle est maintenant bien améliorée sous ce rapport ; les accidents paludéens y sont moins fréquents et moins graves qu'autrefois. Un fléau qui n'a pas diminué est celui des moustiques, surtout abondants en automne.

Deux lignes de chemin de fer permettent depuis peu l'accès facile du delta. L'une aboutit aux Saintes-Maries, l'autre dessert le Salin de Giraud. Ces voies sont extrêmement fréquentées, et l'on peut dire que leur établissement favorise grandement le développement agricole du pays. Grâce à ces facilités de communication, le village des Saintes, naguère l'un des plus isolés de France, est devenu le rendez-vous de villégiature d'Arles, dont les habitants viennent en foule occuper la plage pittoresque illustrée par le poème de *Mireïo*.

La Camargue ne pourra toutefois tirer parti de son sol éminemment fertile que le jour où un système général d'irrigations abondantes en permettra le lavage méthodique et l'irrigation complète.

Composition des terres de la Camargue.

Le cours torrentiel du Rhône se termine à 10 kilomètres au-dessous de Tarascon, et le fleuve, à 5 kilomètres au-dessus d'Arles, ne charrie plus que des sables et des limons. Les terres de la Camargue sont constituées par les matériaux fins résultant du travail d'érosion et de broyage mécanique que les glaciers des Alpes, ainsi que le fleuve et ses affluents, pour la plupart torrentiels comme lui, ont

élaboré dans leur parcours. On ne trouve en Camargue aucune pierre, pas même des graviers, contraste bien frappant avec la plaine de Crau, voisine, si chargée de matériaux volumineux. La couleur des terres du delta est grise ou gris jaunâtre. Les terres sont argilo-calcaires avec prédominance tantôt de limon, tantôt de sable. Elles ne laissent au tamisage que quelques coquilles terrestres et une faible proportion (0.2 à 1.5 p. 100) de débris organiques.

Au voisinage des bras actuels du Rhône et de ses anciens lits, le sol est plus sableux et plus souple que dans l'intérieur de l'île. Mais ces alluvions sableuses forment des zones, même à distance considérable des bras actuels, accusant ainsi les diramations anciennes du fleuve. Les couches limoneuses et sableuses alternent d'ailleurs dans la profondeur du sol de la Camargue, marquant la nature et l'importance des crues. Les terres varient, en somme, d'une manière insensible, depuis l'alluvion souple jusqu'au terrain compact. Mais ces variations sont irrégulières, souvent assez tranchées pour des sols très voisins. Dans un grand domaine de Camargue, on peut, pour ces motifs, rencontrer la plupart des variétés de sols qui existent dans l'ensemble du delta.

A la formation fluviale et marine que nous avons esquissée dans le premier chapitre, se joint en Camargue celle des dunes, dont l'origine est toujours dans les alluvions du Rhône, mais dont le mode de dépôt est bien différent. Les dunes sont les dépôts éoliens des sables triés par la mer et rejetés par elle sur le cordon littoral. Des dunes existent jusqu'au sommet du delta, mais elles sont beaucoup plus développées à sa base et particulièrement dans la région ouest et sud-ouest, aux environs des Saintes-Maries, dans la petite Camargue et jusqu'à Sylve-Réal et Montcalm, à Aigues-Mortes surtout.

Les terres de Camargue peuvent être classées suivant ces deux modes distincts de formation.

Nous étudierons successivement :

1° Les terres d'alluvions ;

2° Les dépôts éoliens ou dunes.

1. — *Les terres d'alluvions de la Camargue.*

Les analyses nombreuses qui figurent plus loin dans ce rapport montrent la grande uniformité de composition des sols d'alluvion de la Camargue. Cependant ces sols offrent une fertilité des plus inégales. La cause principale de ces inégalités est dans la présence ou l'absence du salant. Certains sols sont chargés de sels jusqu'à la surface, tandis que d'autres n'en renferment qu'à une profondeur assez grande. La fertilité des terres est presque directement proportionnelle à la profondeur de terre qui se trouve exempte de sels nuisibles. Les irrigations et les submersions éliminent, en lavant la couche arable, ces corps nuisibles. Elles les chassent dans les fossés de drainage et dans les couches du sous-sol. Par contre, l'évaporation superficielle, en activant les phénomènes capillaires, tend sans cesse à ramener ces corps solubles à la surface. Dans le chapitre spécial relatif à la nature du salant de la Camargue, nous étudierons plus complètement ces phénomènes. Nous devons rester à présent dans les généralités et incriminer surtout le sel marin, dont les terres du delta sont fortement imprégnées.

L'altitude des terres au-dessous du plan des écoulages artificiels ou naturels se trouve être, pour ces motifs, la condition prépondérante qui détermine la valeur agricole d'un sol. C'est à ce titre que la classification qui suit rend à peu près compte de l'aptitude culturale des terres du delta.

Au niveau de la mer, les sols dépourvus d'écoulages artificiels sont couverts d'efflorescences salines et ne portent aucune végétation, car les plantes à sel redoutent elles-mêmes un trop grand excès de ce corps. Dès que le niveau se relève un peu et que le lavage naturel peut s'effectuer sous l'influence des pluies, apparaissent les soudes ou salsolacées diverses, naines ou arborescentes, suivant l'abondance du sel. Ce sont les pâturages à enganes, coupés de sansouïres, qui couvrent en Camargue d'immenses étendues.

A $0^{m},50$ au-dessus des écoulages, on ne peut guère obtenir que des roseaux, triangles et autres plantes marécageuses, fournissant

des litières ou des empaillages recherchés pour l'exploitation de terres cultivées.

De $0^m,50$ à 1 mètre apparaissent les prés palustres à fourrages très médiocres.

De 1 mètre à $1^m,50$, les céréales et les fourrages blancs réussissent assez bien. La réussite de toutes les cultures devient entière à la cote de 2 mètres. Au-dessus de ce niveau figurent les meilleures terres de la Camargue. Cette classification serait tout à fait exacte si toutes les terres du delta jouissaient d'écoulages directs correspondant à leur cote d'altitude. Il n'en est pas ainsi en réalité, car les pentes sont si faibles, que les fossés de drainage ne suffisent point à écouler les eaux issues des terrains, et nombre de terres qui se trouvent à des niveaux favorables sont insuffisamment drainées. Toutefois, cette notion de la valeur des terres proportionnelle à leur altitude est néanmoins exacte pour l'ensemble de la région.

Dès que le sel est éliminé sur une tranche de terrain de $0^m,50$ à $0^m,60$ de profondeur, on obtient en Camargue des terres éminemment fertiles là où régnait auparavant la lande salée. Les terres comprises entre les digues et le fleuve, qui sont restées exposées aux inondations périodiques et ont pu subir un dessalement profond, *les ségonneaux*, montrent par leur admirable fécondité ce que seraient toutes les terres du delta si les corps nuisibles qui les imprègnent pouvaient être définitivement écartés.

Une élimination complète est évidemment impossible, même pour les terres élevées de la Camargue, la profondeur des couches du sous-sol étant considérable et ces couches se trouvant imprégnées dans toute leur masse. Sous l'effet de la capillarité, le sel renfermé dans les couches profondes tend sans cesse à remonter à la surface. Mais, dès que les sols sont à un niveau convenable, cette ascension est combattue par le refoulement des eaux pluviales annuelles. L'ameublissement constant du terrain, en favorisant l'absorption des eaux météoriques et en retardant l'évaporation superficielle, produit aussi le refoulement de la nappe salée du sous-sol. L'application d'empaillages sur le sol suspend ou retarde l'évaporation et conduit au même résultat.

Tels sont les moyens dont disposent les propriétaires de Camargue

pour lutter contre le milieu salé où s'exerce leur activité. C'est par un travail opiniâtre qu'ils réussissent à préserver les cultures de la remontée du salant, toujours menaçante au moindre relâchement des façons culturales. Une bonne terre, abandonnée pendant quelques années, devient, en Camargue, terre salée et perd une grande partie de sa valeur.

Il fallait rappeler ces particularités des sols du delta avant d'analyser leur constitution chimique et physique qui se trouve tout à fait dominée par cette question du salant.

Les limons du Rhône qui ont constitué la Camargue sont plus sableux que ceux de la Durance et, par suite, beaucoup plus favorables que ces derniers au point de vue physique. Ils sont riches en débris de roches primitives, feldspath, micas, arrachés aux pentes des Alpes, broyés par les glaciers, et offrent de ce fait une très grande teneur en potasse soluble dans les acides et en potasse insoluble. A l'égard de cet élément de fertilité, les sols de la vallée du Rhône doivent être considérés comme inépuisables. Le tableau qui suit renferme les analyses de 23 terres du delta du Rhône appartenant à la catégorie des sols alluviaux. J'ai ajouté sous les n°s 24 à 26 les analyses de trois terres recueillies hors de Camargue, dans les anciens marais desséchés d'Arles, mais dépendant toujours des formations du Rhône et de la Durance.

Dans cette série d'analyses se trouvent des terres salées et non salées. L'espace ne permettant pas de mentionner dans le tableau des analyses les désignations de chacune des terres étudiées, nous avons porté ces indications dans la liste qui suit :

Désignations des sols alluviaux de la Camargue dont l'analyse chimique et physique figure sous les numéros correspondants dans les tableaux I et II.

1. — Basse Camargue, Faraman, clos de la Vigie. Terre soumise au lavage préalable par l'établissement de rizières, submergée depuis 1887 et cultivée en vignes. L'échantillon correspond à une couche de 0^{m},40 d'épaisseur ; il a été pris dans un point où la vigne est très vigoureuse et où le terrain, sol et sous-sol, est meuble et friable.

2. — Même clos que le précédent; échantillon pris dans un point voisin où la végétation fait défaut et où le sol, huit jours après la submersion, est très compact.

3. — Basse Camargue, domaine de Belugue. Échantillon pris sur une terre à céréales cultivée depuis plusieurs années et jamais arrosée. Sol et sous-sol friables. L'échantillon correspond à une couche de $0^m,40$. Le clos où il a été pris est situé près du chemin allant de Faraman à Tourvieille.

4. — Même domaine que le numéro précédent. Échantillon pris sur une couche de $0^m,40$ dans une terre vierge voisine, couverte d'enganes peu vigoureux.

5. — Basse Camargue, domaine de Gouïne. Échantillon pris sur une sansouïre n'offrant aucune trace de végétation, près la voie ferrée dans la direction de Faraman. Sol compact; couche de $0^m,40$.

6. — Même domaine que le précédent. Échantillon pris à 15 mètres de distance dans un point recouvert de joncs, graminées et mousses. Terre vierge non arrosée; couche de $0^m,40$.

Ces six premiers échantillons ont été recueillis par M. de Laroque, professeur d'agriculture des Bouches-du-Rhône.

7. — Camargue moyenne. Mas d'Alivon, près du petit Rhône. Échantillon pris sur $0^m,45$ d'épaisseur dans une vigne submergée en terrain d'alluvion assez fort, n'offrant aucune tache de salant. Vignes superbes.

8. — Même domaine, terre haute contre la digue du Rhône; sol léger, sableux, complanté en vignes traitées par le sulfure de carbone. Couche de $0^m,40$ d'épaisseur.

9. — Haute Camargue. Mas de Roy, au sommet du coude du petit Rhône. Vigne de la Chaussée, attaquée par le phylloxéra en 1871 et submergée. Première application de la submersion en Camargue. Type d'alluvion souple, couche de $0^m,40$ d'épaisseur.

10. — Même domaine. Terre dite du Salant, alluvion moyenne plutôt souple. L'échantillon a été pris dans une partie où la vigne est belle. Couche de $0^m,40$ d'épaisseur.

11. — Sous-sol du n° 10, couche de $0^m,40$ à $0^m,80$.

12. — Même domaine et même clos, vignes également belles, couche de $0^m,40$.

13. — Petit plan du Bourg. Mas de la Ville. Alluvion compacte au nord de la Machine. Échantillon pris sur une profondeur de $0^m,40$ dans une vigne submergée superbe.

14. — Même domaine; alluvion de moyenne consistance; couche de $0^m,40$. Aramons submergés très beaux.

15. — Même domaine. Alluvion légère sablonneuse, au midi du clos de la Machine. Vignes submergées magnifiques. Couche de $0^m,45$ d'épaisseur.

16. — Grand plan du Bourg. Mas Thibert; sol argileux de moyenne consistance.

17. — Petit plan du Bourg. Mas de la Ville; clos situé près de la route, salé et sans végétation, soumis depuis au drainage. Couche de $0^m,50$.

18. — Mas de Roy. Terre dite du Salant. Partie la plus salée, plantée en vigne et submergée depuis 1878, sans végétation. Couche de $0^m,40$.

19. — Marais de Faraman. Couche argileuse supérieure d'une épaisseur de $0^m,20$ à $0^m,30$.

20. — Marais de Faraman. Couche sableuse recueillie au-dessous de la couche précédente.

21. — Aigues-Mortes. Port Viel. Terres hautes de marais, très peu fumées, à $0^m,80$ d'altitude au-dessus de la mer, ayant porté du blé et de l'avoine en cultures alternées avec jachère. Couche de $0^m,40$.

Zone de contact des limons du Rhône et de ceux du Vistre et du Vidourle (propriété Louis Gros).

22. — Même domaine. Terres salées de marais à $0^m,20$ au-dessus du niveau de la mer. Couche de $0^m,40$.

23. — Même domaine. Marais et marécages, roseaux et triangles presque au niveau de la mer, avec eaux saumâtres.

24. — Anciens marais desséchés d'Arles, près Montmajour, Mas de la Forêt. Clos de cinsaut submergé. Couche de $0^m,40$ (propriété de M. Divonne).

25. — Même domaine. Pièce submergée *Esperalonga*. Couche de $0^m,40$.

26. — Même domaine. Cadenet, vigne submergée de 50 hectares en morastel. Couche de $0^m,40$.

Ces trois derniers échantillons sont formés de terres fortes dépendant plutôt des alluvions de la Durance que de celles du Rhône. Elles portent de magnifiques et importantes plantations de vignes.

Tableau I. — Composition des sols alluviaux de la Camargue pour 100 de terre sèche.

DÉSIGNATION des éléments.	NUMÉROS DES ÉCHANTILLONS.												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Azote	0.088	0.078	0.132	0.106	0.068	0.110	0.096	0.085	0.130	0.087	0.081	0.133	0.082
Acide phosphorique	0.159	0.160	0.169	0.155	0.145	0.145	0.153	0.139	0.140	0.160	0.147	0.150	0.183
Acide sulfurique	0.090	0.085	0.078	0.089	0.098	0.051	0.066	0.025	0 040	0.065	0.070	0.068	0.070
Potasse soluble (acide)	0 224	0.212	0.419	0.760	0.545	0.290	0.418	0.224	0.183	0.217	0.249	0,298	0 412
Potasse inattaquable	1.700	1.650	"	"	"	1.410	"	1.610	"	"	"	"	"
Soude soluble (acides)	0.070	0.118	0.141	0.689	1.097	0.212	0.110	0.093	0.037	0.059	0.068	0.070	0.133
Magnésie	1.136	0.944	1.048	1.387	1.106	1.162	1.228	1.518	0.875	0.940	1.080	1 039	1.510
Carbonate de chaux	31.870	33.59	32.60	34.50	33.87	33.97	31.85	32.40	24.20	25.21	32.75	32.22	33.85
Alumine	2 210	2.854	6.450	4.02	2.14	1.95	5.96	3.945	5.67	5.30	6.28	5 98	5.92
Oxyde de fer	3.09	2.746		2 99	3.32	2.33							
Chlore	0.009	0.044	0.040	0.661	1.765	0.202	0.30	"	"	"	0.008	0.010	0.30
Silicates insolubles et silice insoluble	57.92	56.62	52.500	47.42	44.09	53.66	53.12	59.76	64.76	63.92	54.45	52.92	46 21

	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Azote	0.128	0.058	0.113	0.037	0.081	0.142	0 032	0.150	0.150	0.114	0.130	0.172	0.189
Acide phosphorique	0.140	0 145	0.140	0.125	0 135	0.160	0.153	0.099	0.108	0.125	0.143	0.138	0.144
Acide sulfurique	0.050	0.040	"	9.098	0.094	0.068	0.040	0.030	0.065	0.040	0.082	0.090	0.092
Potasse soluble (acides)	0 308	0.268	0.255	0.210	0.278	0.429	0.152	0.374	0.472	0.547	0.437	0.490	0.525
Potasse inattaquable	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	1 680	"
Soude soluble (acides)	0.072	0.070	"	0 322	0.373	0.192	0.127	0.184	1.005	0.193	0.118	0.114	0.104
Magnésie	1.107	1.101	"	1.201	1.065	1.013	0.992	1.046	1.096	0.974	1.104	1.042	1.065
Carbonate de chaux	29,80	33,75	32.50	31.92	32.14	30.95	15.60	34.86	32.90	38.62	33 70	34.70	36 40
Alumine	6.01	5.70	"	5.42	5.25	7.79	4.32	6.01	7.98	5.70	8.18	8.13	8.48
Oxyde de fer													
Chlore	"	"	0 31	0.042	0.668	0.154	0.110	0.040	1.323	0.088	"	"	"
Silicates insolubles et silice insoluble	53.15	52.95	"	57.32	54.38	54.22	66.22	49.28	42 42	42.11	46.55	46.02	44.25

Tableau II. — Analyses physiques de quelques sols alluviaux de la Camargue.

N° 1	Sable. . . .	56.55	siliceux.	38.55 p. 100
			calcaire	16.99 —
			débris organiques. . .	1.01 —
	Impalpable. .	43.45	siliceux.	24.14 —
			argile et humus. . . .	4.40 —
			calcaire	14.90 —
N° 2	Sable. . . .	54.72	siliceux.	32.95 —
			calcaire	20.62 —
			débris organiques. . .	1.15 —
	Impalpable. .	45.28	siliceux.	27.40 —
			argile et humus. . . .	4.60 —
			calcaire	13.28 —
N° 3	Sable. . . .	22.04	siliceux.	15.52 —
			calcaire	5.47 —
			débris organiques. . .	1.05 —
	Impalpable. .	77.96	siliceux.	45.63 —
			argile et humus. . . .	5 30 —
			calcaire	27.03 —
N° 4	Sable. . . .	4.35	siliceux.	2.57 —
			calcaire	1.60 —
			débris organiques. . .	0.18 —
	Impalpable. .	95.65	siliceux.	56.14 —
			argile et humus. . . .	6.84 —
			calcaire	32.67 —
N° 5	Sable. . . .	26.64	siliceux.	16.94 —
			calcaire	8.33 —
			débris organiques. . .	0.37 —
	Impalpable. .	74.36	siliceux.	44.10 —
			argile et humus. . . .	5.45 —
			calcaire	24.81 —
N° 6	Sable. . . .	29.33	siliceux.	19.12 —
			calcaire	9.32 —
			débris organiques. . .	0.89 —
	Impalpable. .	70.67	siliceux.	41.23 —
			argile et humus. . . .	5.04 —
			calcaire	24.40 —
N° 16	Sable. . . .	48.95	siliceux.	31.90 —
			calcaire	15.73 —
			débris organiques. . .	1.32 —
	Impalpable. .	51.05	siliceux.	27.60 —
			argile et humus. . . .	6.48 —
			calcaire	16.97 —

N° 25	Sable. . . .	24.40	siliceux.	13.50 p. 100
			calcaire.	9.30 —
			débris organiques. . .	1.60 —
	Impalpable. .	75.50	siliceux.	40.40 —
			argile et humus. . . .	8.40 —
			calcaire.	26.80 —

L'examen du tableau I met en évidence la teneur assez élevée et très uniforme des sols alluviaux de la Camargue en acide phosphorique, confirmant ainsi une observation ancienne de M Paul de Gasparin au sujet de la grande constance de répartition de cet agent primordial dans les terrains de même formation. La proportion moyenne atteint presque 1gr,5 par kilogramme de terre, chiffre sensiblement supérieur à celui reconnu par nous dans les limons de la Durance. D'un avis unanime, les irrigateurs considèrent les limons du Rhône comme bien supérieurs à ceux de la Durance, et cette opinion est justifiée non seulement par leur nature physique, moins compacte et plus sableuse, mais aussi, on le voit, par leur richesse supérieure en acide phosphorique.

Nous avons signalé plus haut l'abondance de la potasse. La proportion de ce corps soluble dans les acides dépasse le plus souvent 2 gr. par kilogramme. Sur les terres encore salées ou qui viennent de subir le lavage, elle atteint 4 et 5 gr. Si on ajoute que ce même agent existe en proportion considérable, variant de 14 à 17 gr. par kilogramme, dans la partie des silicates insolubles dans les acides, on sera renseigné sur l'inutilité absolue des fumures potassiques. Ce fait important n'est pas assez connu des propriétaires de la Camargue, qui souvent, et bien à tort, emploient des engrais potassiques, notamment du sulfate de potasse, car le chlorure a été reconnu nuisible. Par quelques expériences de fumures comparatives avec et sans potasse, les propriétaires pourront bien facilement vérifier le fait que cet agent de fertilisation ne manque pas dans leurs terres et que son emploi constitue une dépense en pure perte. Nous verrons plus loin que, même dans les sables peu argileux dont la richesse en potasse soluble dans les acides est souvent faible, la justification dont nous parlons a été fournie avec toute évidence.

L'azote est moins bien représenté que les corps précédents ; son

titre varie dans les terres dans des limites très étendues. Les sols vierges en renferment généralement moins de 1 gr. par kilogramme. Le taux est encore plus faible dans les terrains salés où la végétation spontanée fait défaut. Il s'élève, au contraire, dans les terres cultivées et dans les anciens marais. On peut dire que l'emploi des fumures azotées règle en Camargue la production du sol partout où le sel n'intervient pas pour nuire aux cultures. Paul de Gasparin avait signalé autrefois cette remarquable utilisation des fumures azotées en Camargue et il en attribuait la cause à l'influence du sel, qui « neutraliserait la disposition des pores de l'argile à absorber et à conserver la partie active de l'engrais à l'état latent[1] ». Une telle hypothèse n'est guère admissible, car on sait que la présence du sel empêche la nitrification et nuit ainsi à l'emploi des fumures azotées[2]. Ces dernières marquent promptement et proportionnellement à leur abondance dans les terres bien lavées de Camargue, simplement parce que ces sols sont, d'autre part, abondamment pourvus en potasse et en acide phosphorique, condition fondamentale qui permet aux fumures azotées de produire leur maximum d'effet. Les meilleures conditions se trouvent d'ailleurs réunies, une fois ce lavage opéré, pour assurer leur rapide nitrification : les terres sont calcaires, en général bien perméables, fortement ameublies par des labours constants appliqués pour combattre les effets de la capillarité. Enfin, suivant la remarque que nous en avons faite dans notre précédent travail, à propos des limons de la Durance, l'azote renfermé dans les limons doit être considéré comme difficilement assimilable, de telle sorte que c'est bien cet élément qui manque surtout aux terres du delta et dont, par suite, l'apport artificiel est le plus indispensable aux cultures.

Les engrais organiques, fumiers, tourteaux, chiffons de laine, etc., qui divisent le sol, sont spécialement à recommander, parce qu'ils contribuent à réduire sa continuité et à diminuer par suite sa capil-

---

1. P. de Gasparin, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1851, t. 32, p. 696.

2. *Recherches sur la décomposition des matières organiques*. Docteur Wolny, mémoire reproduit dans les *Annales de la science agronomique*, 1891, t. II, p. 298.

larité. Les empaillages dont on garnit les terres, afin d'empêcher leur évaporation rapide qui facilite la remontée du salant, apportent aux terres de l'azote et surtout de la matière organique qui fait défaut dans les limons de la Durance et du Rhône. L'humus est si rare dans les terres de Camargue que, mises en contact avec des solutions alcalines qui dissolvent ce corps, elles fournissent des liquides généralement incolores. Seules les terres formées d'anciens marais offrent une teneur notable en humus et colorent un peu ces solutions. L'un des engrais les plus répandus en Camargue et qui y produit d'excellents résultats est le tourteau de sésame, qui renferme 6.5 p. 100 d'azote en moyenne. On utilise aussi, avec grand avantage, la cornaille, les chiffons de laine, le nitrate de soude, dont l'emploi n'est toutefois à conseiller que sur les terres bien lavées et assez argileuses.

Les sols de Camargue contiennent de petites proportions d'acide sulfurique, d'autant plus qu'elles sont plus salées.

Peut-être devrait-on recommander le plâtrage, mais plutôt comme agent physique que comme agent chimique. Nous reviendrons d'ailleurs ultérieurement sur cet emploi du plâtre en parlant du salant alcalin. Il nous paraît que cet agent peut intervenir avec utilité à la fin du dessalement des terres, après l'établissement des rizières, par exemple, car l'argile du sol a une tendance à foisonner lorsque le sel marin disparaît, et il existe une période critique où les sols ainsi délavés deviennent, de ce fait, durs et compacts. Le plâtre ajouté à ce moment maintiendrait la coagulation de l'argile et assurerait ainsi sans entrave la fin du dessalement. Peut-être les taches salées dites réfractaires, ou du moins certaines d'entre elles, qui se maintiennent malgré les submersions répétées chaque année, pourraient-elles céder par l'emploi continu et assez abondant du plâtre. La dureté du terrain est un caractère assez constant de ces taches mauvaises et il semble qu'elle contribue beaucoup à empêcher le lavage du sous-sol, qui le plus souvent en est assez fortement salé. Nous ne pouvons, toutefois, apporter encore aucune vérification pratique du bien-fondé de cette opération. Mais, comme l'expérience en est facile et peu coûteuse, nous croyons devoir à tout hasard la recommander à titre d'essai aux propriétaires.

Les terres du delta sont toutes bien pourvues de magnésie. Les terres salées sont très riches en sels magnésiens et certaines d'entre elles en chlorure de magnésium.

Le tableau n° II renferme l'analyse physique de sept terres de la Camargue et d'une terre des anciens marais d'Arles, déjà mentionnées à l'égard de leur analyse chimique dans le tableau I. On voit, d'après l'examen des chiffres de ces analyses, que la ténacité et la compacité de certains sols de la Camargue tiennent plutôt à l'extrême ténuité des éléments dont elles sont formées qu'à l'abondance de l'argile vraie. Le lot siliceux impalpable y est souvent considérable, et l'on sait qu'il joue à peu près le même rôle que l'argile. D'ailleurs, le lot sableux non impalpable est lui-même, dans ces terres, formé de grains fins et agit aussi sur la consistance du sol, de telle sorte que les résultats présentés par les analyses ne sont guère comparables à ceux qu'offrent des terres ordinaires où le lot sableux est grossier.

Les terres fortes de Camargue, qui renfermemt jusqu'à 95 p. 100 d'impalpable, sont naturellement les plus difficiles à laver, c'est-à-dire à dessaler. Les sols souples et friables répondent à une teneur de 50 à 60 p. 100 d'impalpable.

En résumé, l'analyse chimique montre que les sols alluviaux de la Camargue réclament impérieusement l'emploi de fumures azotées abondantes et soutenues. Ce sont ces fumures qui règlent, en quelque sorte, la productivité du sol. Les terres vierges sont, sous ce rapport, aussi exigeantes, sinon davantage, que les terres depuis longtemps cultivées.

L'acide phosphorique est assez bien représenté dans les terres du delta. Il semble cependant nécessaire de recourir aux engrais phosphatés, surtout aux superphosphates, quoiqu'on puisse penser que, dans les terres profondément dessalées, la masse de cet agent mise à la disposition des racines n'impose peut-être pas une obligation rigoureuse de restitution. Des expériences de culture seraient indispensables pour fixer ce point délicat.

Les engrais potassiques paraissent tout à fait superflus. Dans les

terres nouvellement dessalées, la potasse soluble dans les acides est en quantités énormes. Cet excès s'élimine assez vite, mais les terres restent néanmoins bien pourvues en potasse attaquable. Elles contiennent une réserve immense de potasse inattaquable.

Les fumures azotées organiques paraissent les mieux adaptées à la nature du sol dont on doit, autant que possible, augmenter la perméabilité pour diminuer les effets de la remontée du salant.

La fertilité des terres de la Camargue dépend essentiellement de l'épaisseur de la couche arable débarrassée des sels nuisibles. L'emploi des fumures est sans effet sur des sols insuffisamment dépouillés de l'élément nuisible qui les pénètre.

2. — *Dépôts éoliens ou dunes du delta du Rhône.*

Le mode de formation des dunes maritimes est bien connu : sur la partie desséchée de la plage marine, les grains de sable, légers et mobiles sont entraînés par les vents du large et viennent former en arrière du rivage des monticules offrant la configuration d'une suite de vagues, de hauteurs croissantes, dont les crêtes se déplacent peu à peu sous l'effet des vents dominants. Ce transfert aérien des sables prend de grandes proportions sur les plages océaniennes qui, à marée basse, laissent à découvert de vastes espaces de sables siliceux arides. Les vents dominants sont ceux de l'ouest, qui poussent les sables dans l'intérieur des terres, faisant progresser les dunes. Elles ont enseveli sous leurs masses des territoires cultivés, des villages, jusqu'au jour où l'ingénieur Brémontier imagina, en 1780, de limiter leurs empiétements en les fixant d'une manière durable par les plantations de pins maritimes (*Pinus pinaster*).

Les dunes méditerranéennes de la Provence et du Languedoc sont loin de présenter l'importance de celles des Landes et de la Gascogne. Leur structure est aussi bien moins régulière. Elles ne dépassent guère 7 à 8 mètres de hauteur, tandis que les dunes océanniennes atteignent jusqu'à dix fois la valeur de ces chiffres. La Méditerranée, dépourvue de marées sensibles, ne crée pas en effet des plages d'une étendue comparable à celle de l'Océan. De plus, les vents du nord-ouest et du nord, qui dominent dans les plaines

méridionales, écartent les sables de la terre au lieu de les y pousser; ils exercent sur la dune en formation une action destructive manifeste.

Cependant tout le littoral, depuis Fos jusqu'à Agde, est occupé par des dunes, souvent réduites, mais occupant d'autres fois plusieurs kilomètres de profondeur. Malgré des conditions de formation peu favorables, elles prennent naissance et se maintiennent grâce à la végétation qui les recouvre assez rapidement. Les dunes en formation sont occupées par de maigres pâtis formés par diverses variétés de joncs, de plantes herbacées, d'arbrisseaux de petite taille. Dans leur beau et important mémoire sur la flore de la Camargue, MM. Flahault et Combres ont dressé une liste étendue des plantes qui contribuent le plus activement à la formation des dunes de la Camargue ; ils ont montré le rôle important de la végétation naturelle pour la fixation des sables et la consolidation du cordon littoral dans sa partie encore immergée. « Non seulement, disent-ils, les dunes se maintiennent partout où les eaux de la mer ne réussissent pas à les reprendre aussitôt après les avoir formées (en pénétrant dans les baisses), mais encore leur stabilité nous semble très digne d'être citée [1]. » Pour une part importante, sans doute, cette végétation spontanée, qui s'établit dans les dunes méditerranéennes et qui réussit à les immobiliser, dépend de la nature même des sables, plus fertiles que ceux de l'Océan, quoique placés sous un climat plus aride et moins favorable à la croissance rapide des végétaux. Tandis que les sables des Landes sont siliceux et très pauvres, ceux des cordons littoraux de la Méditerranée, formés par les alluvions du Rhône, sont calcaires et bien pourvus en acide phosphorique.

En arrière des dunes en formation s'étendent, sur de grandes longueurs et presque intacts, des cordons littoraux plus anciens, tels que celui de la Sylve-Godesque, dont la longueur est d'environ 20 kilomètres. D'autres ont été coupés et morcelés par d'anciens bras du Rhône, encore marqués par des dépressions, launes ou baisses, qui s'étendent vers la mer.

Ailleurs, des altérations plus profondes n'ont laissé que des té-

1. Flahault et Combres, *loc. cit.*, p. 48-49.

moins épars, comme les montilles de Badet, d'Icard, des Frignans et de la Vignolle, et plus au nord, les montilles du Mas de Roy, du Mas de la Ville, etc. La suite des radeaux des Rièges constitue un alignement bien net se rattachant à Fos et à la petite Camargue. L'histoire de ces cordons littoraux anciens a été tracée avec précision par Émilien Dumas, et l'on peut consulter avec fruit la carte publiée en 1850 par cet éminent géologue. Plus tard, MM. Charles Martins et Ch. Lenthéric ont illustré et popularisé cette même région par leurs descriptions[1].

Les sables s'accumulent en abondance sur la pointe de l'Espiguette et sur le littoral compris entre les Saintes-Maries et le Grau-du-Roi. C'est en arrière de cette zone qu'existent les dunes les plus importantes et les plus profondes de la Camargue. La plupart sont comprises dans la petite Camargue, au quartier du Sauvage, Brasinvert, le Clamadou, Sylve-Réal, Montcalm. Beaucoup d'entre elles ont été détruites, c'est-à-dire nivelées pour la culture de la vigne, notamment celles de Montcalm et du territoire d'Aigues-Mortes. Il ne reste au nord d'Aigues-Mortes que quelques hautes dunes boisées à Corbières. Les dunes sont, au contraire, à peu près complètes et magnifiquement boisées en pins pignons à l'est de l'Espiguette. Ce sont les pinèdes curieuses de Sylve-Réal, du Clamadou, de Brasinvert, formées de montilles de 5 à 7 mètres d'élévation, séparées par de vastes launes ou baisses, marécageuses et saumâtres. A côté du pin parasol, dont la végétation élégante et puissante caractérise toutes ces montilles, existe en abondance le genévrier de Phénicie (*Juniperus phœnicea*).

D'après M. Lenthéric, la formation de ces dunes remonterait à une époque antérieure à l'ère chrétienne. « Ce sont bien, disent MM. Flahault et Combres, des dunes fossiles ayant conservé leur forme première : autour d'elles sont d'anciennes sansouïres encore peuplées comme les sansouïres actuelles ou légèrement dessalées et

---

1. Émilien Dumas : Carte géologique du Gard, arrondissement de Nîmes au 86,400e, 1850, *Statistique géologique du Gard*, 2e partie, 1876, p. 642 à 694. — Ch. Martins : Mémoire sur la topographie des environs d'Aigues-Mortes. (*Revue des sciences naturelles de Montpellier*, 1874.) — Ch. Lenthéric, *Les Villes mortes du golfe de Lyon*, 1883.

plus herbeuses. » Ces dunes boisées brisent les vents du nord et du nord-ouest et protègent la dune littorale en formation.

Du même âge sont les dunes des Rièges, aux confins du Vaccarès et des étangs inférieurs. On ne peut les atteindre qu'en traversant plusieurs kilomètres d'étangs salés peu profonds (gazes) ou de vastes étendues de plaines salées recouvertes d'une croûte cristalline éblouissante. « De bien loin, une ligne ondulée d'un vert sombre montre le but ; mais dans ce paysage étrange où l'eau, le ciel et la terre semblent confondus, le mirage donne l'illusion de réalités, et la réalité ressemble à un mirage. L'horizon forme une ligne incertaine et tremblante ; tout vibre dans cette éclatante lumière de la plaine sans limites, comme sur les bords des chotts de l'Afrique que nous rappellent ces rives du Vaccarès. Mais la brise nous apporte des odeurs balsamiques qui ne sauraient tromper ; ce n'est plus le mirage, mais bien les chaudes essences de plantes parfumées. On atteint bientôt la ligne continue des radeaux, petits ou grands, interrompus seulement par les gazes du Vaccarès. Leur forme même et leur orientation ne sauraient laisser de doute sur leur origine ; orientés dans la direction est-ouest, ils forment une ligne parallèle au rivage actuel.

« La physionomie des Rièges est bien différente de celle de la Sylve-Réal. Ici les dunes sont basses (à peine 2 mètres) ; le pin pignon qui donne leur nom et leur physionomie aux pinèdes de la petite Camargue, n'existe pas aux Rièges. La végétation forme un maquis presque partout impénétrable de genévriers de Phénicie, de lentisques, de phillyréas, d'alaternes et de tamaris ; les genévriers de Phénicie y atteignent de 6 à 8 mètres de haut et plusieurs dépassent 2 mètres de circonférence. On parvient à se frayer un chemin sur la piste des bœufs sauvages, qu'on a parqués jadis sur les Rièges ; leurs squelettes et les restes de divers animaux sauvages, blanchis par le temps, donnent l'illusion de terres perdues bien loin de toute civilisation [1]. »

Les dunes des Rièges ne sont guère accessibles ; il faut les aborder par les étangs inférieurs ou du côté de la pointe de Mornès. C'est

1. Flahault et Combres, *loc. cit.*, p. 52-53.

assurément l'une des parties les moins connues de la Camargue. Nous ne pouvions mieux faire que d'en emprunter la description aux savants botanistes de Montpellier, qui ont su la rendre si exacte et si vivante.

C'est une grave erreur de penser que les sables maigres des dunes n'ont été appréciés comme sols agricoles qu'au moment où leur immunité phylloxérique a été nettement établie. Aux environs d'Aigues-Mortes, c'était bien dans les sables que l'on avait établi la plupart des cultures du pays, mûriers, garances, vignes, etc. On savait immobiliser les sables par l'enjonçage. Mais on n'exploitait que les environs de la ville, et le reste était formé de dunes boisées formant un cadre magnifique à l'ancienne ville féodale. Bien avant l'apparition du phylloxéra, la vigne prospérait dans ce milieu. C'est ainsi qu'en 1842, la Compagnie des canaux de Beaucaire et des bassins du Scamandre et du Leran cultivait à Daladel un vignoble de 80 hectares, étendue importante pour cette époque. L'absence de routes ne permettant pas le transport des vins, une distillerie créée par l'exploitation les transformait en alcool.

Il serait facile de citer d'autres faits montrant que la vigne était exploitée avec profit dans les sables. On peut encore voir à Montcalm des vignes presque centenaires. Il y a peu d'années, on a arraché à Corbières un vignoble planté en 1830. La vigne occupait donc des espaces notables dans les sables de dunes, mais, vers 1851, les vignobles furent en quelques années ravagés par l'oïdium et cette culture disparut presque, comme partout, sous l'influence de ce fléau.

Lorsque l'emploi du soufre fut connu, chaudement propagé par la Société de viticulture de l'Hérault, les habitants d'Aigues-Mortes replantèrent des vignes, mais assez timidement au début. En 1872, alors que les ravages phylloxériques causaient des ruines immenses dans le Gard et dans l'Hérault, on observa la bonne tenue des vignes dans les sables purs, maigres et mouvants, tandis qu'elles disparaissaient rapidement dans les sols alluviaux voisins, tels que ceux de Saint-Laurent-d'Aigouze. Les terres sablonneuses des environs d'Aigues-Mortes, qui avaient été un moment consacrées à la culture de la garance, culture ruinée par la découverte de l'alizarine artifi-

cielle, devenaient libres et furent en quelques années replantées en vignes. Le vignoble occupait en ce moment environ 400 hectares. Un vigneron de Vaucluse, M. Bayle, après avoir parcouru la région et avoir constaté, non pas le premier, mais après d'autres, la résistance certaine des vignes dans les milieux sableux, afferma en 1880 à la Compagnie des canaux une centaine d'hectares de dunes dont il commença sans retard la plantation avec l'aide de sous-colons, partageant avec lui les profits de l'entreprise. C'est donc à tort que l'on attribue l'idée première de la culture de la vigne dans les sables au vigneron de Vaucluse. L'un des premiers, sans doute, il comprit l'immense intérêt de l'immunité des milieux sableux ; mais cette immunité était bien établie au moment de son entreprise, et des efforts parallèles aux siens s'exerçaient partout dans le territoire. Ceci ne diminue en rien le mérite de M. Bayle comme viticulteur, et mon seul but est ici de corriger une légende inexacte qui tend à passer comme vérité acquise dans la littérature.

Lorsque les terres anciennement nivelées furent plantées, on s'attaqua aux dunes et aux montilles. Ce fut une période de fièvre, comme en a créé un peu partout la culture de la vigne. En quelques années, le vignoble put atteindre une surface d'environ 4 000 hectares. Des sables qui offraient une valeur de 500 fr. l'hectare trouvèrent acquéreurs aux prix de 6 000 à 10 000 fr. La ville d'Aigues-Mortes, qui comprenait environ 3 000 âmes, vit sa population presque doublée.

Le vignoble des sables est maintenant fort étendu, non seulement autour d'Aigues-Mortes, mais dans les sables analogues qui existent jusqu'au nord de la Camargue, au Mas de Roy, au Mas de la Ville, par exemple, sables qui appartiennent au cordon littoral le plus ancien du delta. Des vignobles sont établis même dans le cordon littoral actuel, à la pointe de l'Espiguette. Les dunes de Badet, d'Icard, de Maguelonne, des Saintes-Maries, les sables de Faraman, etc., ont été entièrement plantés. En petite Camargue, on rencontre de beaux vignobles dans les sables du grand radeau au quartier du Sauvage et auprès des pinèdes du Clamadou, de Brasinvert, de la Sylve-Réal, plus haut décrites. Depuis longtemps, les dunes de Montcalm ont été nivelées et converties en vignobles, ainsi que presque toutes celles

qui s'étendaient le long de la route de Sylve-Réal à Aigues-Mortes. Il ne reste plus que quelques bouquets de pins comme spécimen des anciennes montilles et, au nord d'Aigues-Mortes, quelques hautes dunes à Corbières. Au sud d'Aigues-Mortes, la Compagnie des Salins du Midi a créé avec un outillage perfectionné les grands vignobles de Jarras et de Bosquet, récemment étudiés par M. Müntz[1], et plus loin, sur le cordon littoral de l'étang de Thau, la même société a installé, plus luxueusement encore, l'exploitation modèle de Villeroy.

Malgré leurs différences d'âge géologique, ces sables, qui appartiennent soit au cordon littoral actuel, soit à des cordons anciens, ne sont guère différents. Partout ils présentent des caractères chimiques et physiques identiques. Il est difficile d'évaluer la surface des vignobles actuellement constitués dans les sables et plus malaisé encore de calculer l'importance des dunes qui sont libres. Il est superflu de donner des chiffres qui ne peuvent offrir aucune garantie d'exactitude. On peut dire que les espaces sableux qui restent inoccupés sont encore très importants, mais pour la plupart difficilement accessibles. Au voisinage des centres et des routes, les sables réfractaires au phylloxéra ont été partout utilisés.

Le nivellement des dunes est la première opération pour leur mise en valeur. L'expérience a montré qu'il devait être fait avec beaucoup de soins, afin de ne laisser subsister aucune baisse, diminuant la profondeur de la couche sableuse et créant dans le vignoble des points d'affaiblissement correspondants. Suivant la hauteur des dunes, cette opération est plus ou moins coûteuse. On l'évalue à 1 200 fr. pour les dunes hautes et à 800 fr. pour les dunes basses. Le nivellement des dunes est important aussi pour mettre à la portée des racines, d'une manière régulière et uniforme, l'eau du sous-sol. Il semble qu'en dehors de ces raisons, toute dénivellation favorise certains phénomènes de délavage qui accumulent sur les points bas des sels nuisibles aux cultures.

Un caractère constant des dunes ou des sables nivelés est d'offrir,

1. *Annales de la science agronomique*, 1893, p. 27.

à un niveau égal ou peu supérieur à celui de la mer, une nappe d'eau douce imprégnant le sous-sol sableux, nappe qui persiste pendant la saison sèche et assure le maintien de la végétation. Sur les cordons sablonneux les plus étroits, qui séparent les étangs salés de la mer, par exemple, cette nappe douce peut être observée. Son existence dépend apparemment de la facilité qu'offrent les sables pour la pénétration des eaux pluviales, sans ruissellement sensible. L'eau s'accumule dans le sol même où elle tombe et, malgré la capillarité du terrain, elle se trouve préservée d'une évaporation rapide par la profondeur et l'homogénéité de la couche sableuse qui n'offre jamais de fissures.

Cette remarque n'est point particulière aux sables d'Aigues-Mortes, que peut-être on a considérés à tort comme spécialement bien pourvus d'une nappe d'eau douce. J'ai constaté la présence de l'eau douce à 1 mètre et $1^{m},25$ non seulement à Aigues-Mortes, où Barral a fait partout la même remarque, mais aussi dans tous les sables littoraux que j'ai eu l'occasion de sonder en Algérie, en Tunisie, en Corse.

Sur l'isthme étroit et sableux de Radès, cordon littoral qui sépare la mer du lac salé de Tunis, l'eau douce existe partout à un niveau de 1 mètre à $1^{m},25$. Cette nappe suffit à alimenter, sous un climat chaud et aride, les vergers d'arbres fruitiers et de vignes, cultivés avec grand soin par les Maures. Dans les sables granitiques à grains grossiers, qui près de Bastia forment le cordon littoral étroit de l'étang de Biguglia, en communication avec la mer, l'eau douce existe à peu de profondeur et à une bien faible distance des eaux salées.

Ces mêmes phénomènes ont été décrits pour les dunes d'origine continentale. « Par une remarquable compensation naturelle, dit M. A. de Lapparent[1], les dunes continentales, qui sont la conséquence d'un climat désertique, deviennent, en raison de leur perméabilité, de précieux réservoirs pour les eaux de pluies, qu'elles parviennent à emmagasiner en certaine quantité. Aussi le pied des grandes dunes est-il souvent marqué par des nappes d'eau. »

1. *Traité de géologie*, 3e édition, 1893, 1re partie, p. 146.

Dans la région salée et presque marine de la basse Camargue, au delà de la digue à la mer, c'est dans les monticules de sable, dunes naissantes, que les gardiens de la digue et les bergers trouvent l'eau alimentaire. Il en est de même en Camargue, partout où il existe des îlots sableux. A Aigues-Mortes, où les sables offrent, en général, une plus grande profondeur que dans la basse Camargue, la nappe souterraine est plus abondante et plus douce: elle est moins sujette à devenir amère et salée par l'insuffisance des pluies. Son origine pluviale est certaine, à part quelques rares exceptions de sols sableux qui peuvent être en relation avec des eaux douces issues de dérivations fluviales ou de terrains supérieurs.

Dans une note présentée à l'Académie des sciences, Barral attribua les beaux résultats de la culture de la vigne dans les sables d'Aigues-Mortes à la présence constante de cette nappe aquifère ainsi qu'au pouvoir d'ascension capillaire très marqué de ces sables [1].

Pour mesurer cette ascension, il fit usage de tubes de verre de $0^m,20$ de diamètre intérieur et de 1 mètre de hauteur, qu'il garnit uniformément de sable. Les tubes, dressés verticalement, étaient fermés en bas par une toile et plongeaient de quelques millimètres dans un bassin d'eau.

En dix jours, les deux premiers tubes remplis de sable d'Aigues-Mortes s'imbibèrent d'eau sur une hauteur de $0^m,474$ pour l'échantillon n° 1, de $0^m,479$ pour l'échantillon n° 2, tandis qu'il fallut 149 jours au tube n° 3, rempli de sable des Landes, pour atteindre le même niveau d'imbibition.

L'expérience poursuivie sur les mêmes tubes accusa les résultats suivants :

	Du 10 août au 10 novembre 1882, soit après 97 jours.	Du 10 août 1882 au 8 janvier 1883, soit après 157 jours.
	mètre	mètre
N° 1. Sable d'Aigues-Mortes. . . .	0,781	0,853
N° 2. Sable d'Aigues-Mortes. . . .	0,758	0,837
N° 3. Sable des Landes.	0,392	0,478

1. *Comptes rendus*, V, 96, 1883, 1er semestre, p. 420.

« Il demeure acquis, ajoute Barral, que l'eau monte très rapidement par capillarité dans le sable d'Aigues-Mortes, très lentement dans le sable des Landes. J'en conclus que les vignes dans les sables, en pays et en temps de sécheresse, ont besoin de l'eau souterraine qui leur arrive par capillarité, et je crois pouvoir dire que, d'une manière générale, les vignes ne donnent d'abondantes vendanges que lorsqu'il y a dans le sol une réserve d'eau suffisante. Les cultures dans les sables ne réussissent bien que si ces sables ont une capillarité très grande et reposent sur une couche aquifère. »

Ces conclusions de Barral sont assurément fort justes. Elles montrent que des sables de dune peuvent avoir un coefficient de capillarité, pour mieux dire un pouvoir capillaire ascensionnel, bien différent. Si, en général, tous les sables de dunes peuvent être considérés comme réfractaires au phylloxéra, leur aptitude pour la culture de la vigne peut varier dans de grandes limites. Si toutes les dunes qui ne sont pas trop hautes peuvent être considérées comme pourvues d'une nappe aquifère douce, le pouvoir capillaire des sables dont elles sont formées intervient pour mettre cette eau à la portée des racines et peut créer entre différents sables, suivant les qualités qu'ils offrent sous ce rapport, des différences essentielles très importantes à considérer.

Quand la réserve d'eau douce retenue dans le sous-sol des sables s'épuise sous l'influence des étés secs et de l'insuffisance des pluies, comme il est arrivé en 1894, l'année 1893 ayant été elle-même anormalement sèche, les eaux salées des étangs peuvent pénétrer dans les terres et y causer de graves accidents de végétation. Aux mois de juillet et d'août 1894, des vignes entières se sont desséchées avec leur récolte, et en quelques jours, dans plusieurs domaines des Saintes-Maries, de Maguelonne, d'Icard et même dans le territoire d'Aigues-Mortes. Les eaux recueillies dans le sous-sol étaient salées, comme le montreront les analyses qui seront plus loin mentionnées au chapitre spécial du salant.

Les renseignements qui précèdent au sujet du mode de formation des dunes, de leur topographie, de leur aptitude pour la culture de la vigne, etc., n'expliquent point la cause de l'immunité des sables. Cette immunité ressort tant des faits généraux de la pratique que

d'expériences nettement démonstratives. Mais les causes réelles de cette immunité ne sont pas élucidées. On en est encore réduit aux hypothèses.

Le pouvoir défensif des sables a été mis en évidence par la constatation suivante : un propriétaire d'Aigues-Mortes, M. Louis Gros, avait amendé en 1874 des parcelles de sable maigre avec les curures argileuses du canal d'Aigues-Mortes. Tandis que toute autre culture avait trouvé profit à cet apport, les vignes qui occupaient les parcelles ainsi amendées déclinèrent et manifestèrent bientôt l'apparence phylloxérique. En examinant les racines, on les trouva pleinement phylloxérées et en partie détruites par l'abondance des nodosités dans toute la partie supérieure du sol mélangée d'argile. Dès qu'elles pénétraient dans le sable pur sous-jacent, elles se montraient exemptes d'altérations et d'insectes. C'est à la suite de cette constatation d'une extrême netteté que nous fîmes en compagnie de MM. Catta et Mazel en 1877, que fut décidée l'expérience du cap Pinède, près Marseille, qui en est la contre-partie expérimentale.

« Une fosse de $0^{m},80$ de profondeur sur 7 mètres de long et 2 mètres de large a été creusée dans notre champ d'expériences du cap Pinède, dit M. Marion en relatant cet essai dans un rapport fait à la Compagnie des chemins de fer P.-L.-M.[1]. Cette fosse fut remplie avec du sable d'Aigues-Mortes. Trente ceps enracinés de deux ans, choisis dans une pépinière phylloxérée, furent placés dans ce sable en fin avril. Les insectes étaient extrêmement nombreux au moment de la plantation, les racines étaient déjà en grande partie décomposées et il n'existait plus de minces fibrilles. Au bout d'un mois, il était facile de reconnaître que la reprise était parfaite. Plusieurs pieds furent arrachés, le système radiculaire était rétabli, on constatait encore les traces du parasite, mais il était impossible de retrouver un seul insecte là où, auparavant, on voyait à l'œil nu, une véritable couche de pondeuses et d'œufs. Ce phénomène était général. Nous l'avons reproduit plusieurs fois en introduisant de nouveaux pieds phylloxérés dans la fosse, et il n'a jamais fallu plus d'un mois pour amener la disparition totale du phylloxéra. La question est

1. 1879, p. 14.

donc parfaitement résolue. Il existe des sables qui non seulement s'opposent à la descente du puceron sur les racines, mais qui opèrent encore une action insecticide rapide et sûre sur tous les parasites qui y seraient enfouis accidentellement au moment de la plantation. Il ne peut exister un seul doute à ce sujet et l'on comprend tout l'intérêt de cette observation pour les viticulteurs possédant des espaces sablonneux jusqu'à ce jour sans emploi. »

M. Sylvain Espitalier, au Mas de Roy, avait réussi à maintenir pendant plusieurs années en bonne végétation des vignes cultivées en sol argileux en y apportant avec abondance les sables de dunes extraits des montilles du Mas. Il fut le premier qui attira l'attention sur cette propriété des sables. « De 1870 à 1874, l'ensablement devint, au Mas de Roy, un système parfaitement raisonné et établi de défense contre le phylloxéra ; et c'est justice à rendre à M. Espitalier de lui faire l'honneur d'une découverte qui a ressuscité et enrichi des centres agricoles importants, et a rendu à la culture des milliers d'hectares sableux et déserts de la Méditerranée[1]. » Il n'est pas sans intérêt de rappeler ici que les premières submersions de la Camargue sont dues aussi à M. Espitalier, qui substitua cette méthode plus facile et plus radicale à celle de l'ensablement.

Le phylloxéra ne peut vivre dans le milieu particulier que constituent les sables mouvants, tels que celui d'Aigues-Mortes. D'une manière générale, d'aillleurs, les sols sablonneux, même lorsqu'ils n'ont point pour origine le dépôt d'alluvionnement aérien, sont plus ou moins réfractaires. Quelle est la cause essentielle d'une pareille immunité ? Beaucoup d'expérimentateurs se sont préoccupés de résoudre cette question.

M. Saint-André invoqua en 1881[2] la capacité capillaire des sols pour l'eau en précisant qu'il entendait définir ainsi la quantité d'eau retenue mécaniquement par une terre complètement imprégnée de ce liquide. Par une méthode qu'il n'a pas fait connaître, il a étudié 165 terres, prises, les unes dans des vignobles qui avaient suc-

1. G. Gauthier, *Rapport du jury de la prime d'honneur en 1886*, dans les Bouches-du-Rhône, p. 12.

2. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 11 avril 1881.

combé sous l'influence phylloxérique, les autres parmi les terres sablonneuses indemnes du littoral méditerranéen, des bords de la Durance et des dunes de l'Océan. Il a conclu de ses essais qu'il existe une relation entre la capacité capillaire d'un sol et son aptitude à empêcher le développement du phylloxéra. Les sols indemnes auraient, d'après cet auteur, une capacité capillaire de 23 à 35.8 p. 100. Dans les terres non réfractaires aux atteintes du puceron et où la végétation de la vigne est languissante, la capacité capillaire atteindrait 35.2 à 42.5 p. 100. Elle serait toujours supérieure à 40 p. 100 dans les terrains où les vignobles disparaissent rapidement sous les attaques du phylloxéra. Le même auteur attribue aux mouvements de l'eau dans les terres un rôle de premier ordre. Mais il n'a fait en aucune manière ressortir la relation entre la facilité de ce mouvement et la capacité capillaire dont il fait mention. Cette capacité capillaire correspond-elle au pouvoir d'imbibition, tel qu'on l'entend généralement, lequel offre, comme on sait, une relation avec l'ascension capillaire ?

M. Vanuccini a publié, de 1881 à 1885[1], différentes études sur le même sujet. Il a calculé les dimensions des vides interstitiels qui existent dans un sable de l'Océan où depuis soixante ans les vignes se maintiennent en parfait état de végétation. Comparant les dimensions de ces espaces à la taille des phylloxéras, il est arrivé à cette conclusion que les jeunes insectes trouvent facilement leur passage dans ces interstices, tandis que les pondeuses radicicoles, arrivées à leur taille normale, sont dans l'obligation de déplacer quelques grains de sable pour se mouvoir. « Mais si, à ce moment, on suppose que l'eau provenant d'une pluie ou introduite dans le sol par imbibition et par infiltration, pénètre dans le sable, voilà que l'insecte ainsi que ses œufs se trouveront entourés d'une couche d'eau persistante qui gênera considérablement leur respiration. Si cet état se prolonge d'une façon quelconque, soit que l'eau continue à pénétrer dans le sol, soit que son évaporation soit empêchée, on comprend que l'insecte et ses œufs souffriront fortement et pourront

1. *Messager agricole* du Dr F. Cazalis. Montpellier, 10 septembre 1881, 10 mai 1883, 10 juillet et 10 août 1885.

même périr. » Le même auteur rapporte que ces hypothèses ont été confirmées par l'expérience suivante : avec ce même sable de l'Océan dont il avait mesuré les espaces interstitiels, il remplit trois éprouvettes dressées verticalement et fermées inférieurement par un tampon d'amiante ; dans chacune d'elles, il plaça des racines phylloxérées, garnies de pondeuses radicicoles et d'œufs. Une de ces éprouvettes fut gardée pendant huit jours consécutifs. La seconde fut arrosée une seule fois jusqu'à ce que l'eau s'écoulât à la partie inférieure. La troisième fut arrosée abondamment chaque jour pendant huit jours, l'eau s'écoulant toujours librement à la base.

Les racines gardées huit jours dans le sable sec offraient de nombreux phylloxéras très bien portants. Les œufs étaient éclos et on voyait de jeunes insectes fixés sur les racines à distance des mères pondeuses. Dans les deux autres éprouvettes, les insectes fixés sur les racines avaient pris la teinte brune des phylloxéras hibernants. Toute activité vitale semblait éteinte en eux ; ils étaient en effet ou morts ou engourdis. Les œufs n'étaient point éclos.

Une destruction aussi rapide paraît peu conciliable avec ce que l'on sait des effets de la submersion, qui doit être maintenue pendant cinq semaines pour donner des effets suffisamment complets. M. Vanuccini pare cette objection en faisant remarquer que les sables se pénètrent uniformément et rapidement d'eau, tandis que les sols argileux ou calcaires ne sont que lentement et partiellement imbibés. Le sable laisse échapper l'air, tandis que les terres ordinaires en conservent à l'état de vacuoles, qui assurent la respiration d'une partie au moins des insectes.

A l'appui de sa manière de voir, M. Vanuccini cite le maintien de vignes françaises dans des terres qui, quoique non exclusivement sableuses, sont naturellement humides ou irriguées artificiellement. La conclusion formulée par cet auteur est que « l'humidité naturelle ou artificielle, jointe à la nature physique du terrain, est la seule cause de la résistance opposée par la vigne aux attaques du phylloxéra ».

Il n'est pas douteux que l'existence d'une nappe d'eau souterraine soit favorable à la végétation des vignes ou de tous autres végétaux, et qu'à défaut de cette nappe, en sol perméable, les irrigations d'été

ne puissent y suppléer. Dans de telles conditions, les vignes résistent parce qu'elles émettent des racines en grande abondance. D'autre part, la multiplication du phylloxéra est gênée par un sol trop humide. Toutefois, les racines attaquées pourrissent dans des terrains trop saturés d'eau et la présence de cette eau ne fait point périr le phylloxéra. Au contraire, dans les sables, le phylloxéra périt rapidement, comme l'expérience du cap Pinède l'a démontré et comme le démontrent les expériences elles-mêmes de l'auteur que nous venons de citer. Il périt de même dans les sables de l'Océan, que Barral a démontré être beaucoup moins capables que ceux d'Aigues-Mortes de remonter l'eau par capillarité. Il ne paraît donc point que les explications de M. de Vanuccini suffisent à rendre compte de l'immunité des sables. Les conclusions de l'auteur manquent de précision et tendent même à établir une confusion entre les milieux réellement réfractaires au parasite de la vigne et les terres où la végétation de cette plante est simplement favorisée au point d'équilibrer les effets du phylloxéra.

La seule hypothèse, non vérifiée, il est vrai, qui permette de se rendre compte de l'immunité est celle qui repose sur la mobilité des particules, hypothèse admise par Barral, et que l'on peut qualifier d'hypothèse mécanique. La mobilité et la finesse des particules sableuses empêcheraient tout d'abord la pénétration du phylloxéra. La voie naturelle de l'insecte est évidemment le tronc de la souche ; dans la plupart des terrains, le tronc de la vigne, ébranlé par le vent, laisse autour de lui un passage spacieux et annulaire pour la descente de l'insecte sur les racines. Dans les sols sableux, ce passage n'existe pas, car l'éboulement du sable remplit immédiatement tous les vides qui pourraient accidentellement se former autour de la souche. M. Vanuccini a montré que les jeunes insectes peuvent passer à travers les interstices des grains sableux, mais, en même temps, ses recherches ont prouvé que ces espaces interstitiels étaient insuffisants pour laisser circuler les pondeuses. Cet obstacle est assurément suffisant pour créer l'immunité, puisque, dès la première génération, l'insecte est ainsi certainement arrêté dans sa progression. Mais il y a plus : les sables détruisent le phylloxéra, ainsi que M. Vanuccini l'a montré dans son expérience dans le sable arrosé et

comme le prouve aussi l'essai du cap Pinède, quoique dans cet essai le sable n'ait pu s'humecter que par contact avec le sol argilo-calcaire, sans être, comme à Aigues-Mortes, noyé à sa base dans une couche aquifère. Il y a donc une action insecticide véritable, comme l'a affirmé M. Marion, et nous devons essayer de comprendre tout au moins comment cette action peut se produire. Il nous semble qu'elle est le résultat de la mobilité du sable qui, même à l'état sec, réalise des conditions intermédiaires entre un solide et un liquide. Le sable de dune coule comme un liquide (expérience du sablier) et ses grains se tassent naturellement les uns contre les autres en se transmettant de l'un à l'autre la pression des grains supérieurs. En présence de l'eau, ce tassement est encore favorisé ; ne serait-ce point là la cause *unique* de la destruction du phylloxéra ?

Cette hypothèse, en tout cas, rend bien compte de la différence de résistance dans différents sols sableux. Les seuls sables indemnes sont ceux parfaitement mobiles, presque exempts d'argile et d'impalpable, et qui sont incapables de s'agréger lorsqu'avec un peu d'eau on essaye d'en faire une masse malléable. Dès qu'un sol sableux est susceptible de former avec l'eau une pâte un peu consistante qui, en séchant, conserve une certaine ténacité, on n'a plus affaire à un sol indemne.

L'analyse physique, suivant la méthode de Schlœsing, permet de caractériser assez nettement les sables indemnes. Il n'est point nécessaire de recourir au dosage de l'argile vraie, dont la proportion dans les sables réfractaires est presque nulle. Il suffit de séparer par la lévigation les parties sableuses, siliceuses et calcaires du lot impalpable. En opérant, comme l'a indiqué M. Schlœsing, sur 10 gr. de terre dans une capsule, et en favorisant par friction avec le doigt la séparation des parties fines, on reconnaît que, dans les sols indemnes, le lot sableux total est toujours supérieur à 85 centièmes. Ce lot peut renfermer une proportion notable, 13 à 27 p. 100, de sable calcaire (pour les sables de dunes du delta du Rhône). Au-dessous de 85 p. 100 de lot sableux total, on trouve des sables qui s'agrègent après avoir été malaxés avec un peu d'eau et qui conservent en séchant la forme que leur a donnée le pétrissage. Il faut un certain effort pour briser les parties ainsi desséchées. A la vérité,

cette limite de 85 p. 100 de lot sableux total correspond à des sols déjà un peu gras, c'est-à-dire légèrement agrégés. Ces sols se défendent cependant et peuvent être considérés comme réfractaires, parce que leur surface supérieure est formée de sables plus purs que la masse de l'échantillon sur laquelle porte l'analyse (couche de $0^m,40$). Au-dessus de 90 p. 100, l'immunité est certaine. Les sables de dunes maigres contiennent jusqu'à 98 et 99 p. 100 de sable total. Ils sont presque exempts d'impalpable.

Le tableau suivant montre bien ces différences :

NUMÉROS DES ANALYSES. (S'y reporter pour la désignation des sables.)	LOT sableux total.	SABLE calcaire.	IMPALPABLE.
Sables réfractaires au phylloxéra.			
3	96.25	16.60	3.75
4	94.70	16.55	5.30
5	96.40	19.25	3.60
6	92.80	18.22	7.20
7	91.25	18.07	8.75
8	99.35	24.93	0.65
9	87.80	19.85	12.20
10	98.75	25.30	1.25
11	97.50	20.18	2.50
12	98.57	27.67	1.43
13	86.45	15.70	13.55
15	96.95	21.60	3.05
16	96.71	20.89	3.29
17	88.02	17.70	11.98
19	96.23	18.17	3.77
20	93.85	16.58	6.15
25	95.88	17.92	4.62
26	91.90	15.58	8.10
27	95.50	19.80	4.50
28	97.00	19.83	3.00
30	88.14	17.01	11.86
31	87.25	16.58	12.75
34	96.70	16.85	3.30
Sables gras non réfractaires au phylloxéra.			
1	57.40	17.25	42.60
2	62.55	18.66	37.45
14	75.53	19.02	24.47
18	74.42	14.36	25.58
22	73.92	16.92	26.08
23	81.40	15.15	18.60
24	84.16	16.46	15.84
29	62.95	15.20	37.05
32	73.97	16.74	26.03
33	50.97	12.38	49.05

Le sable n° 24 est à la limite de la résistance et les vignes peuvent s'y maintenir longtemps ou même indéfiniment, malgré la présence du phylloxéra, présence temporaire, lorsqu'en été le sable desséché s'agrège et devient consistant. Ces différences et cette classification n'ont de valeur que pour les sables d'Aigues-Mortes que nous avons étudiés. Il est probable, cependant, que son importance est plus générale. C'est à tort que l'on a indiqué, pour caractériser l'immunité des sables, la présence nécessaire d'une proportion minima de 60 p. 100 de sable siliceux. C'est plutôt, on le voit, la proportion totale de sable qui est importante à considérer, ou, si l'on veut, la proportion de l'impalpable, c'est-à-dire du ciment qui peut agréger les sables. La nature du lot d'impalpable n'est, sans doute, pas indifférente pour réaliser cette agrégation qui fait disparaître l'immunité. Mais, comme il faut très peu d'impalpable, environ 14 p. 100 dans les sables d'Aigues-Mortes, pour agréger déjà nettement le sable, alors que ce lot impalpable ne contient que des traces d'argile colloïdale, on peut penser que, dans des sables où l'impalpable serait plus argileux, la proportion limite de sable capable de conférer l'immunité se trouverait elle-même notablement accrue. Ce sont les seules généralisations qu'il est permis d'indiquer, et encore avec quelque réserve. Parmi les sables non réfractaires signalés dans les tableaux se trouvent des terres qui pourraient évidemment figurer dans la série des sols alluviaux déjà précédemment étudiés.

En 1888, nous nous étions proposé, M. Krassilstchick et moi, d'entreprendre un travail complet sur l'immunité des sables. M. Krassilstchick était à cette époque en France, remplissant une mission du gouvernement impérial de Russie, qui avait précisément pour objet l'étude des questions phylloxériques. La recherche des causes réelles de cette immunité lui apparaissait, ainsi qu'à moi-même, comme une question du plus haut intérêt pour la viticulture.

Les neufs premiers échantillons qui figurent plus loin dans les analyses ont été recueillis au printemps de 1888 par M. Krassilstchick, en vue de cette étude en commun dont nous avons dressé le programme. Nous espérons pouvoir reprendre ce travail, qui comprendra l'étude bactériologique des sables ; car, parmi les hypothèses que l'on peut former pour expliquer leur immunité, il y a celle

de l'existence possible d'organismes destructeurs du parasite, et cette hypothèse est appuyée par l'autorité du grand nom de Pasteur, que M. Krassilstchick avait consulté à cet égard, et qui d'ailleurs s'était prononcé dans le même sens à l'Académie des sciences dans une discussion relative au phylloxéra [1]. Le milieu particulier des sables est assez spécial pour comporter des conditions biologiques tout à fait différentes des terres ordinaires où le phxlloxéra se propage et pullule. Tout en acceptant provisoirement une explication purement mécanique, qui paraît rendre compte des faits d'une manière satisfaisante, la prompte disparition du phylloxéra introduit dans les milieux sableux et quelquefois grossiers, suggère d'une manière intense une cause de destruction qui paraît bien être celle à laquelle a songé l'illustre Pasteur, en regrettant de ne pouvoir consacrer du temps à cette recherche spéciale. Nous avons pensé, M. Krassilstchick et moi, que, si un organisme capable de détruire le phylloxéra existait quelque part, on devait le trouver dans les milieux spécialement réfractaires, tels que les sables des dunes.

Nos recherches étaient commencées, lorsque M. Krassilstchick fut appelé à diriger les travaux de défense contre le phylloxéra dans la Russie méridionale (Bessarabie). J'ai utilisé dans le présent mémoire les matériaux qu'il avait rassemblés à une époque où je ne pouvais le faire avec lui. J'y ai ajouté un grand nombre d'autres échantillons similaires recueillis plus tard par moi dans d'autres parties de la Camargue.

Le tableau qui suit renferme, avec la désignation de ces divers échantillons, leur analyse physico-chimique d'après la méthode de M. Schlœsing. Les dosages de l'argile colloïdale et de l'humus n'ont pas été faits et l'on n'a tenu compte que du lot impalpable qui les comprend. Dans les sables indemnes, ces corps sont représentés par des proportions si minimes que leur dosage était impraticable.

---

1. Pasteur, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1880, 1er semestre.

Analyses physico-chimiques des sables du delta du Rhône (sur 100 de terre sèche).

NUMÉROS des analyses.	PROVENANCE DES ÉCHANTILLONS.	LOT SABLEUX.				LOT IMPALPABLE.		
		TOTAL.	SILICEUX.	CALCAIRE.	débris organiques.	TOTAL.	SILICEUX, argile et humus.	CALCAIRE.
1	Sables à l'ouest d'Aigues-Mortes, derrière le faubourg Pie IX, fumés avec curures du canal et offrant des racines phylloxérées en abondance. Couche de 0m,30, propriété L. Gros. Recueillis par M. Krassilstchick en 1888.	57.40	39.69	17.25	0.46	42.60	28.35	14.25
2	Même vigne, échantillon plus profond à 0m,50	62.55	43.37	18.66	0.52	37.45	23.71	13.74
3	Vigne Robert, au N.-O. d'Aigues-Mortes, territoire de Chaumone. Sables fins, maigres et indemnes, couche de 0m,30	96.25	79.75	16.00	0.50	3.75	2.75	1.00
4	Même vigne que ci-dessus, couche de 0m,50	94.70	79.65	16.55	0.50	5.30	3.55	1.75
5	Même vigne que ci-dessus, couche prise à 1 mètre de profondeur. . .	96.40	76.68	19.25	0.47	3.60	2.85	0.75
6	Vignoble Lasserre, à l'est d'Aigues-Mortes, sables indemnes, couche de 0m,40	92.80	73.85	18.22	0.73	7.20	5.62	1.58
7	Sous-sol du précédent, couche de 0m,40 à 0m,75 où l'eau apparaît. .	91.25	72.52	18.07	0.66	8.75	6.62	2.13
8	Sables de montilles incultes près du canal à l'ouest de la ville, couche de 0m,50.	99.35	73.97	24.93	0.45	0.65	»	»
9	Sous-sol du même, à 1 mètre de profondeur	87.80	68.30	19.25	0.35	12.20	8.75	3.45
10	Montille inculte à Corbières. Échantillon moyen pris à 0m,50 en différents points. Haut et bas de la montille	98.75	72.90	25.30	0.55	1.25	0.89	0.36
11	Montille inculte. Échantillon moyen pris au milieu à 0m,50	97.05	76.83	20.18	0.49	2.50	1.67	0.83
12	Montille inculte à Corbières. Échantillon pris par M. le professeur Marion, de la Faculté des sciences de Marseille, en juin 1891	98.57	70.31	27.67	0.59	1.43	0.91	0.52
13	Sables de couleur foncée, riches, entourés de marais, plantés en vigne, pièce du Pradet, propriété L. Gros. Couche de 0m,50	86.45	70.35	15.70	0.40	13.55	10.80	2.75
14	Sous-sol blanchâtre et marneux du précédent. Couche de 0m,50 à 0m,80 touchant la nappe aquifère	75.33	56.20	19.02	0.31	24.47	15.40	9.07

NUMÉROS des analyses.	PROVENANCE DES ÉCHANTILLONS.	LOT SABLEUX.				LOT IMPALPABLE.		
		TOTAL.	SILICEUX.	CALCAIRE.	DÉBRIS organiques.	TOTAL.	SILICEUX, argile et humus.	CALCAIRE.
15	Sables profonds (Neblons), domaine Louis Gros, près Aigues-Mortes, occupés par la vigne depuis 1878, autrefois plantés en mûriers. Résidu au tamisage, 7.10 p. 100. Cailloux siliceux et coquilles marines. Ces parties de graviers et de coquilles s'étendent sur une zone, parallèle au littoral d'Aigues-Mortes au petit Rhône, qui offre une largeur de 20 à 30 mètres et marque la place d'une ancienne plage. Couche de 0m,65 d'épaisseur	96.95	74.92	21.60	0.43	3.05	2.55	0.50
16	Montilles nivelées et plantées en vignes en 1867 à Corbières, pièce dite *le Tombeau*, propriété Louis Gros. Couche de 0m,50. A 1m,50, existe la nappe aquifère.	96.71	74.97	20.89	0.85	3.29	2.12	1.17
17	Sables gras dans la couche supérieure, par suite du débordement des marais apportant les limons du Vistre et du Vidourle. Pièce dite *la Cépade*, près le marais de Saint-Clément, propriété Louis Gros. Couche modifiée de 0m,40 d'épaisseur au-dessous de laquelle on rencontre le sable pur des montilles voisines. Cette pièce souffre, d'une manière intermittente, des attaques du phylloxéra.	82.02	70.12	17.70	0.20	11.98	8.28	3.70
18	Même propriété. Pièce de la Pinède, proche du marais de Saint-Clément, dont la couche supérieure est altérée plus encore que dans la précédente. Les vignes souffrent du phylloxéra et ont été arrachées	74.42	59.90	14.36	0.16	11.58	18.09	7.49
19	Montilles basses au N.-E. de la Rhée-Longue, près du Grand-Radau (petite Camargue), boisées en pins pignons	96.23	77.32	18.17	0.74	3.77	»	»
20	Sables cultivés en vignes au Grand-Radau, quartier du Sauvage. Vignes couvertes d'abondants empaillages. Échantillon de profondeur, 0m,50 .	93.85	76.46	16.58	1.11	6.15	5.39	0.76
21	Au-dessous de ces sables, couche argilo-sableuse (voir analyse chimique).	»	»	»	»	»	»	»
22	Cabanes d'Astoin (propriété Marqué). Sables gras dans lequel une vigne de 20 ans en 1891 meurt du phylloxéra constaté.	73.92	56.55	16.92	0.45	26.68	18.30	7.78
23	Maguelone (près Sainte-Marie, propriété de M. Savoy). Sables gras où une vigne de carignan souffre du phylloxéra constaté en 1891. Ces vignes ont été depuis traitées avec succès par le sulfure de carbone. .	81.40	65.79	15.15	0.46	18.60	14.75	3.85

NUMÉROS des analyses.	PROVENANCE DES ÉCHANTILLONS.	LOT SABLEUX. TOTAL.	SILICEUX.	CALCAIRE.	DÉBRIS organiques.	LOT IMPALPABLE. TOTAL.	SILICEUX, argile et humus.	CALCAIRE.
24	Maguelone (propriété Savoy). La Jardinière. Sables gras très fertiles portant des aramons. Limite de la résistance	84.16	67.25	16.46	0.45	15.84	10.58	2.56
25	Sables purs, de faible hauteur, entourés de marais, à Lagalle, près Les Saintes-Marie, partie où les vignes sont belles.	95.88	76.96	17.92	0.50	4.62	1.98	2.64
26	Lagalle. Échantillon pris dans une partie plus basse où les vignes sont affaiblies	91.90	74.75	16.58	0.57	8.10	6.94	1.16
27	Badet. Anciennes montilles boisées de pins pignons, nivelées et converties en vignes. Sables réfractaires. Couche de 0m,40	95.50	75.00	19.80	0.70	4.50	2.00	2.50
28	Autre pièce de vigne à Badet. Même nature de sables	97.00	76.42	19.83	0.75	3.00	2.80	0.20
29	Même domaine. Sables gras non réfractaires au phylloxéra. Couche de 0m,40	62.95	47.20	15.20	0.55	37.05	26.73	10.32
30	Mas de Roy (propriété Espitallier). Montilles nivelées et plantées en vignes, fortement fumées, sables réfractaires au phylloxéra. Couche de 0m,10.	88.14	70.28	17.08	0.85	11.86	9.67	2.19
31	Même domaine. Autre pièce de vignes, très fumée	87.25	69.60	16.58	1.07	12.75	9.23	3.52
32	Même domaine. Vigne dite de *l'Abîme*, sol argilo-sablonneux, riche et très fumé. Couche de 0m,30, non réfractaire. Sous-sol peu sableux. Terre submergée.	73.97	55.65	16.74	1.58	26.03	20.52	5.71
33	Même domaine. Sables gras non réfractaires	50.95	38.17	12.38	0.40	49.05	35.03	14.02
34	Mas de la Ville, propriété Peyron. (Petit plan du Bourg.) Sables de montilles, nivelées et plantées en vignes. Couche de 0m,40	96.70	79.17	16.85	0.68	3.30	1.95	1.35

Quelques observations doivent être mentionnées en ce qui concerne la nature physique des sables et leur immunité phylloxérique.

Les sables de dunes en place ou de dunes nivelées depuis quelque temps sont toujours plus purs, c'est-à-dire plus sableux, dans leur partie supérieure que dans la couche inférieure. Les eaux pluviales opèrent un lavage qui entraîne les parties impalpables. C'est exceptionnellement que des sables de dunes peuvent être modifiés dans

leur couche supérieure, comme dans les échantillons 1 et 2, qui ont reçu des apports directs de limons, et dans les échantillons 17-18 qui, formés d'anciennes dunes nivelées, ont été accidentellement recouverts par des eaux limoneuses.

Les n°s 8 et 9 montrent nettement les différences que nous signalons : la couche supérieure de ces montilles basses contient 99.35 p. 100 de sable total, et par suite une proportion presque nulle d'impalpable. A 1 mètre de profondeur, le sous-sol renferme au contraire 8.75 d'impalpable et seulement 87.8 p. 100 de sable.

Dans la couche supérieure de 0^{m},50 d'épaisseur, la vigne du Pradet (n° 13) contient 86.45 p. 100 de sable et 10.83 d'impalpable. Son sous-sol (n° 14), quoique de nature sableuse, ressemble presque à une marne calcaire et friable, sableuse, blanche ; il renferme seulement 85.53 de sable et 15.40 d'impalpable. Les grains de sable siliceux qu'il renferme sont couverts d'une couche de carbonate de chaux, qui lui donne cette couleur crayeuse ne ressemblant en rien à la couche supérieure. Il est presque de règle de trouver de sensibles différences dans le taux de carbonate de chaux, moindre dans le sol que dans le sous-sol des sables. Souvent la couche la plus riche en calcaire existe à 50 ou 60 centimètres de profondeur, et parfois elle constitue un tuf médiocrement résistant et de faible épaisseur, qui agrège les particules sableuses et interrompt la continuité et la perméabilité du sol. La végétation est, sur ces points qui forment une dépression du terrain, toujours affaiblie. Nous verrons plus loin que cette formation de tuf dépend quelquefois de circonstances spéciales sur lesquelles nous aurons l'occasion d'insister en parlant du salant alcalin.

Le sous-sol des sables peut donc, à un certain niveau, ne plus offrir les qualités requises pour l'immunité phylloxérique. Mais c'est une erreur qui a été commise de croire que dans ces conditions l'insecte peut effectivement nuire aux vignes. Sa pénétration est, au contraire, absolument empêchée par la nature sablonneuse du sol supérieur. On ne s'expliquerait point les effets remarquables de l'ensablement, tel qu'il a été pratiqué par M. Espitallier, s'il n'en était pas ainsi.

Au-dessous des sables, on rencontre constamment une couche

nettement argileuse et imperméable qui retient les eaux pluviales. Cette même couche tapisse le pourtour des îlots sablonneux, coupés par des étangs et des marais salés. On peut imaginer que cette ceinture protectrice s'établit naturellement comme une conséquence de la propriété qu'offre l'argile de se délayer dans les eaux douces et de se coaguler dans les eaux chargées de sels marins. On se rappelle les belles expériences de Schlœsing, qui ont défini cette propriété des argiles. Elles expliquent à nos yeux la présence habituelle d'une nappe d'eau douce dans les dunes au voisinage immédiat de la mer ou des lagunes salées qui en dépendent. Cette barrière argileuse constitue, en effet, une protection très sûre contre tout mélange, tant que le niveau de la nappe d'eau douce est assez élevé dans les sables pour faire équilibre au niveau des eaux salées voisines. L'eau douce est ainsi retenue par l'imperméabilisation de l'argile à son contact, tandis que, si des sécheresses prolongées interviennent, l'eau salée peut filtrer dans le sol sableux en coagulant sa ceinture protectrice argileuse, qui devient perméable. Pendant les pluies hivernales, l'argile délavée du sous-sol, mise en suspension dans les eaux douces qui pénètrent les sables, vient au contraire se coaguler et s'accumuler dans la zone limitrophe du terrain qui est en contact avec les lagunes chargées de sel. L'abondance des pluies hivernales et printanières devient ainsi le principal agent de l'assainissement des terres sableuses ; et l'on voit que ce n'est pas uniquement par suite du lavage du terrain qu'elles produisent ce résultat, mais encore en provoquant des phénomènes plus complexes, qui n'ont pas été jusqu'ici analysés et dont l'importance nous paraît hors de doute.

D'ailleurs, au point de vue de la culture de la vigne, quoique les sables maigres soient sûrement plus indemnes, ce ne sont pas ceux qui offrent les meilleures chances de succès et qui sont les plus recherchés. On préfère les sables un peu gras ou à sous-sol gras, infiniment plus fertiles, suffisamment réfractaires au phylloxéra, qui conservent mieux leur humidité. C'est dans ces sables surtout que la conservation de la nappe d'eau douce et son isolement des lagunes salées paraît le plus sûrement réalisée. Je ne parle là, bien entendu, que des sables légèrement gras, non de ceux qui à la surface même

sont capables de s'agréger, auquel cas l'immunité phylloxérique disparaît.

Les chiffres donnés par Barral au sujet de la capillarité des sables d'Aigues-Mortes ont été rapportés plus haut. Dans notre travail, commencé avec le concours de M. Krassilstchick, nous avons examiné également le pouvoir ascensionnel capillaire de quelques sables sans poursuivre toutefois l'expérience aussi longtemps que lui. Je rapporterai quelques-uns de ces essais qui montrent les différences très grandes que peuvent présenter les sables choisis dans un même territoire.

L'expérience a été faite dans des tubes de verre (cheminées de lampe à gaz) de 250 millimètres de longueur et de 44 millimètres de diamètre intérieur, bouchés à la base par une toile tendue et fixés sur le tube avec un lien de ficelle. Le sable desséché a été introduit avec un entonnoir pour provoquer une chute régulière et uniforme par petites portions, en tassant chaque fois légèrement.

L'ascension de l'eau a été notée de 5 en 5 minutes au commencement, puis à des intervalles plus écartés à mesure que le phénomène se ralentissait. L'expérience a porté sur les six premiers échantillons mentionnés plus haut dans les analyses physico-chimiques.

TABLEAU.

TEMPS ÉCOULÉ depuis le départ de l'essai.	ASCENSION DE L'EAU, EN CENTIMÈTRES DE HAUTEUR dans divers échantillons de sables d'Aigues-Mortes.					
	1	2	3	4	5	6
Minutes.						
5	0,2	1,1	10,9	6,4	10,0	10,0
10	0.8	2,0	13,2	8,0	12,0	12,0
25	1,5	2,9	15,9	9,5	14,0	15,6
23	2,4	4,3	17,5	11,2	16,0	16,5
33	3,3	5,4	19,2	13.0	17,7	18,0
43	4,2	6,4	20,4	14,2	18,8	19,2
53	4,9	7,4	20,9	14,9	19,8	20,4
63	5,6	8,3	»	15,7	20,9	»
83	6,7	9,6	»	16,8	»	»
150	10,1	13,6	»	19,1	»	»
260	14,4	17,5	Ascension complète en 53 minutes.	Ascension complète en 240 minutes.	Ascension complète en 63 minutes.	Ascension complète en 58 minutes.
320	16,5	19,6				
385	18,3	20,8				
400	18,6	Complet en 390m.				
Teneur en eau au sommet de la colonne de sable	20,00	18,25	11,25	12,38	14,00	15,30
Teneur en eau à la base après égouttage de 48 heures sous cloche saturée d'humidité	20,75	20,69	16,90	20,90	21,35	21,56

Les deux premiers échantillons sont des sables dont la pureté a été altérée par l'apport de curures limoneuses du canal d'Aigues-Mortes. Leur faculté d'ascension capillaire pour l'eau a été grandement diminuée par le mélange avec le limon ; l'échantillon superficiel n° 1 qui renferme le plus d'impalpable (42.6 p. 100) est celui dont le pouvoir ascensionnel est le plus faible (37.45 d'impalpable pour le n° 2).

Les échantillons 3, 4, 5 ont été pris dans une même fouille à différentes profondeurs et dans un sol sableux fin et maigre d'une immunité phylloxérique parfaite. Le n° 3 correspond à la couche superficielle de 30 centimètres d'épaisseur ; c'est celui dont le pouvoir d'ascension capillaire est le plus marqué. Le n° 4 représente l'échan-

tillon moyen de sable à une profondeur de 50 centimètres, couche intermédiaire ; c'est le moins actif de beaucoup au point de vue de la faculté d'élever l'eau. La couche profonde à 1 mètre est seulement un peu moins active que la couche supérieure.

L'expérience réalisée dans des tubes courts, n'admettant qu'une tranche verticale de sable de 21 centimètres de profondeur, ne peut évidemment fixer la limite de l'ascension capillaire ; elle suffit toutefois pour mettre en évidence des différences très accusées entre des couches de sable voisines, résultat assez inattendu.

L'eau a été dosée dans les sables à la partie supérieure des tubes et dans leur partie inférieure. Ce dernier dosage est presque sans intérêt, car, malgré un égouttage prolongé, les sables restent gorgés d'eau, ainsi que l'a démontré M. Schlœsing, en critiquant les expériences de Schübler. Les taux d'humidité constatés dans la tranche supérieure sont plus intéressants, quoique la hauteur des colonnes de sable soit encore trop courte pour une étude correcte du pouvoir d'imbibition. M. Schlœsing a démontré d'ailleurs qu'il était impossible de représenter par des chiffres invariables cette propriété des terres. Trop de facteurs tendent à la modifier en sens divers : épaisseur de la couche arable, nature et perméabilité du sous-sol, distance de la nappe d'eau souterraine, dimensions mêmes des particules qui varient, dans une même terre, suivant les travaux mécaniques auxquels on l'a soumise et le temps écoulé depuis ces opérations. Pour les sables purs, toutefois, on obtiendrait, en se plaçant toujours dans les mêmes conditions, des chiffres beaucoup plus constants et comparables entre eux, car cette dimension des particules peut être considérée là comme invariable par le défaut d'argile ou de substance limoneuse capable d'agréger les graviers sableux. La dimension de ces derniers réglerait apparemment la faculté d'imbibition. Dans l'expérience plus haut relatée, on peut voir que l'échantillon n° 3, qui offre le pouvoir d'ascension capillaire le plus accusé, est celui qui retient le moins d'eau par imbibition. Ce serait une erreur cependant de penser que ces deux propriétés, pouvoir d'ascension capillaire, faculté d'imbibition, offrent une relation inverse constante. Il n'y a pas, au contraire, d'antagonisme entre ces propriétés, et ce qui le prouve, c'est que la finesse des grains de

sable augmente dans de certaines limites l'ascension capillaire et, en même temps, le pouvoir d'imbibition. La relation inverse n'apparaît que si le sable confine à l'argile par son extrême ténuité.

Il n'était pas sans intérêt d'examiner quelle est la finesse des sables de dunes d'Aigues-Mortes. L'essai de classement suivant a été fait avec des tamis de soie choisis à mailles aussi régulières que possible. Deux échantillons différents des montilles de Corbières (nos 10 et 12) ont été soumis à cette expérience.

DÉSIGNATION.	NUMÉRO 10.	NUMÉRO 12.
Partie retenue sur le tamis n° 60, de 22 fils au centimètre	0.50	0.20
Tamis n° 80 (33 fils par centimètre) . . .	24.21	22.47
— n° 100 (38 —) . . .	26.37	25.65
— n° 120 (45 —) . . .	11.27	10.22
Partie passant au tamis n° 120	37.65	41.46
Totaux.	100.00	100.00

Environ 40 p. 100 de ces sables est formé de grains inférieurs comme dimension à un cinquième de millimètre, et cette partie je n'ai pu la classer, n'ayant point trouvé dans le commerce de tamis plus fins que le n° 120. Le reste est formé de grains supérieurs à cette dimension, mais n'excédant pas un tiers de millimètre.

Les différents lots sableux ainsi séparés du sable n° 10 ont été introduits dans des tubes de cristal calibrés du diamètre de 23 millimètres à l'intérieur et de 50 centimètres de longueur, fermés à la base par une toile. Le sable a été tassé légèrement, puis les tubes ont été suspendus verticalement au-dessus d'un vase, de manière que leurs extrémités inférieures fussent maintenues au même niveau. On a introduit ensuite assez d'eau pour mouiller sur 2 millimètres de hauteur l'extrémité des tubes. Le tableau suivant renferme les chiffres d'ascension capillaire observés sur ces lots de sable à grains de grosseurs différentes et sur l'échantillon même du sable n° 10.

Ascension capillaire en centimètres de hauteur.

TEMPS ÉCOULÉ depuis le départ de l'expérience.	TAMIS 80. — Grains de 0mm,30 environ.	TAMIS 100. — Grains de 0mm,26 environ.	TAMIS 120. — Grains de 0mm,22 environ.	PASSANT au tamis120 (moins de 0mm,22 environ)	SABLE n° 10 naturel.
Après 5 minutes	10,5	11,5	12,0	12,5	12,5
— 10 minutes	11,5	12,5	13,5	15,5	15,5
— 20 minutes	12,0	14,0	16,0	18,5	18,0
— 35 minutes	13,0	14,5	16,5	21,5	21,0
— 1 h. 20	13,5	15,5	17,5	25,0	24,5
— 3 h. 40	14,0	17,0	20,0	27,0	26,5
— 5 heures	15,0	18,0	La quantité de sable a manqué pour remplir le tube.	28,0	28,0
— 9 h. 30	16,0	19,5		28,2	28,5
— 18 heures	16,5	20,5		28,5	29,5
— 25 heures	16,7	20,8		28,8	29,9
— 50 heures	17,0	21,0		29,3	30,3
— 171 heures (7 jours 3 heures)	17,3	22,0		30,3	32,0
— 700 heures (29 jours)	21,5	24,5		37,5	36,5

L'influence de la grosseur des grains est manifeste dans cette expérience et montre combien la capillarité est accrue pour de petites différences de dimensions en moins. Ce qui peut paraître surprenant, c'est que le sable n° 10 a offert une ascension capillaire aussi active que celle du lot le plus fin qui en avait été extrait. Mais ce résultat s'explique par la présence dans ce lot fin de la partie impalpable du sable dont la proportion relative se trouve accrue par la séparation du sable plus grossier. C'est là, du moins, l'explication qu'il semble naturel d'admettre pour rendre compte de cette apparente anomalie.

Le sable n° 11 nous a servi à réaliser une autre expérience dans des tubes exactement conformes aux précédents. L'échantillon a été divisé en deux parties aussi homogènes que possible. L'une a été laissée telle quelle. L'autre a été traitée par des proportions ménagées d'acide chlorhydrique jusqu'à décalcification complète. Puis le

sable a été lavé à fond, en entraînant la portion impalpable résultant de l'attaque acide. Sans aucun doute, on a du même coup entraîné l'impalpable du sable, dont la proportion était d'ailleurs fort minime (1.43 p. 100). Le sable ainsi décalcifié et lavé a été séché et introduit, comme le sable naturel, dans un tube de cristal. L'ascension capillaire a été examinée comparativement dans chacun de ces sables.

Ascension capillaire en centimètres de hauteur.

TEMPS ÉCOULÉ depuis le départ de l'expérience.	SABLE naturel n° 12.	LE MÊME décalcifié.
	centimètres	centimètres
Après 40 minutes.	26,5	21,5
— 1 h. 40	28,5	23,0
— 2 h. 40	29,5	23,5
— 6 heures.	30,0	24,0
— 24 heures	31,5	29,0
— 22 jours.	37,5	34,5

La soustraction du calcaire a donc diminué très notablement le pouvoir d'ascension capillaire du sable. Cependant l'échantillon décalcifié, qui, du fait de cette opération, avait été purifié de toute trace d'impalpable, se trouvait placé de ce chef dans de meilleures conditions apparentes que le sable naturel. La discussion de cet essai ne sera possible qu'après des expériences complémentaires que nous nous proposons de faire ultérieurement sur diverses variétés de sable.

L'appréciation du niveau occupé par l'eau dans les tubes est souvent assez difficile dans ces essais, si l'on n'opère pas le remplissage des tubes avec certaines précautions. Il importe tout d'abord de mélanger avec beaucoup de soin les échantillons de sable en agissant dans une capsule et avec une carte, de manière à éviter tout roulement des grains les uns sur les autres. En faisant couler le sable, il s'opère une séparation entre les grains de différentes tailles. Pour que les tubes soient remplis d'une manière homogène, il faut introduire le sable avec un entonnoir, de manière qu'il tombe verticalement au centre du tube, sans rouler sur ses parois. Il faut l'intro-

duire par petites quantités, puisées à mesure dans la masse mélangée de la capsule, et à mesure tasser le sable dans les tubes en leur donnant un choc vertical. Lorsque le remplissage a été effectué dans de telles conditions, l'ascension est régulière et se produit simultanément à la même hauteur dans toute la tranche du sable. Si, au contraire, le tube a été incliné au moment du remplissage, l'ascension est irrégulière et l'appréciation du niveau moyen d'imbibition est impraticable.

On voit que, dans les premiers instants, l'ascension capillaire se produit avec une très grande rapidité qui rendrait l'observation comparative difficile sur un grand nombre de tubes. Après une demi-heure, elle peut être suivie aisément. C'est très lentement qu'elle se produit ensuite, lorsque le niveau de la colonne d'eau surpasse $0^m,20$ ou $0^m,25$. Comme, à mesure que l'eau monte plus haut, il n'y a que les interstices capillaires les plus étroits qui s'imbibent d'eau, la démarcation de la tranche humide devient moins nette et exige plus d'attention pour être distinguée.

J'ai analysé tous les sables désignés dans le tableau précédent, qui renferme leur analyse physico-chimique et en même temps leurs provenances et conditions de prises. Les tableaux qui suivent renferment les résultats obtenus avec indication du numéro de l'échantillon.

TABLEAU.

Analyse chimique des sables du delta du Rhône sur 100 de terre sèche.

DÉSIGNATION des éléments.	NUMÉROS DES ÉCHANTILLONS.																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Azote	0.095	0.067	0 050	0.035	0.030	0.068	0.077	0.014	0.035	0 017	0.025	0.015	0.070	0.049	0.030	0.037	0.069
Acide phosphorique	0.112	0.101	0.094	0.078	0.069	0.104	0.094	0.069	0.078	0.101	0.077	0.093	0.135	0.150	0.129	0.124	0.150
Acide sulfurique	0.060	0.047	"	"	0.020	"	"	"	"	"	"	"	0.030	0.025	"	"	"
Potasse	0.213	0.200	0.082	0.070	0.062	0.094	0.091	0.062	0.093	0.059	0.060	0.060	0.111	0.085	0 065	0.076	0 111
Soude	0.054	0.056	0.038	0.067	0.056	0.038	0.038	0.019	0.036	0.032	0 048	0.015	0.032	0.059	0.061	0.027	0.042
Magnésie	0.666	0.530	0.320	0.560	0.520	0.587	0.586	0.421	0.629	0 480	0.547	0.530	0.404	0.457	0.437	0.530	0.520
Carbonate de chaux	31.500	32.40	16.830	18.300	19.30	19.80	20.20	24 50	22.50	23.60	21.41	27.65	18.20	34.45	22.10	22.15	21.45
Alumine	1.930	3.650	1.32	2.610	1.549	1.292	2.71	1.066	3.40	2.08	2.02	1.278	2.71	3.50	2 310	1.252	3.16
Oxyde de fer	1.700		1.21		1.250	1.358		1.264				1.242				1.246	
Chlore	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	0.031	"	"	"
Silice et silicates insolubles calcinés	56.636	59.676	77.92	77.024	76.792	74.832	74.544	70.851	71.564	71.824	74.468	68.28	74.844	59.556	73.90	74.25	72.00

	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Azote	0.099	0.043	0.107	0.056	0.064	0.040	0.082	0.058	0 070	0.040	0.046	0.113	0.079	0.082	0.130	0.055	0.042
Acide phosphorique	0.148	0.078	0.096	0.130	0.140	0.122	0.138	0.106	0.130	0.126	0.111	0.165	0.128	0.134	0.180	0.137	0.076
Acide sulfurique	0.028	"	"	0.115	0.050	0.030	"	"	"	"	"	0.040	"	0 015	0.045	0.025	"
Potasse	0.163	0.066	0.073	0.399	0.198	0.129	0.210	0.078	0.085	0.085	0.074	0.316	0.181	0.153	0 222	0.236	0.075
Soude	0.069	0.034	0.069	1.732	0.050	0.048	0.029	0.032	0.050	0.049	0 042	0.087	0.055	0.057	0.051	0.101	0.056
Magnésie	0.648	0.530	0.578	1.657	0.684	0.731	0.462	0.547	0.478	0.580	0.334	0.892	0.606	0.597	0.714	0.860	0.612
Carbonate de chaux	22.10	17.30	17.566	30.30	24.40	19.00	21 70	20.40	18.76	22.88	20.00	25.25	20.30	20.25	22.44	26.40	18.24
Alumine	4.06	1.080	2.544	5.25	3.53	2.75	2.83	0.99	1.840	2.53	2.68	5.25	2.90	2.85	3.35	4.94	2.298
Oxyde de fer		1.300						1.283	1.382								
Chlore	"	"	"	2.183	"	"	"	"	0.020	"	"	"	"	"	"	0.023	"
Silice et silicates insolubles calcinés	68.264	78.90	76.29	52.608	67.256	73.70	73.88	76.128	77.33	73.972	74.796	59.604	72 536	72.568	66.50	62.964	78 26

Les sables des dunes rhodaniennes sont d'une extrême pauvreté en azote. Si l'on choisit les échantillons sur les parties dénudées des dunes, les teneurs en cet élément varient entre $0^{gr},140$ et $0^{gr},250$ par kilogramme. Au pied des dunes, dans les parties boisées, la teneur du sol augmente dans les couches supérieures. Dans les dunes basses, la couche du sous-sol, souvent mêlée d'une proportion notable d'éléments fins, est au contraire plus riche que le sable maigre supérieur. Dans l'étendue de la dune, la proportion d'azote est en somme très variable, mais toujours faible si l'on écarte les débris organiques de la surface et si l'on considère la couche de $0^{m},50$ d'épaisseur.

Les chiffres suivants représentent la teneur en azote, par kilogramme, des sables de montilles en place que j'ai étudiés.

N° 8. — Montille basse, près du canal, à l'ouest d'Aigues-Mortes. Couche de $0^{m},50$	$0^{gr},140$
N° 9. — Sous-sol formé d'un sable agrégé, à 1 mètre de profondeur.	0 ,350
N° 10. — Montille, à Corbières. Échantillon moyen de plusieurs fouilles, à $0^{m},50$ dans le haut et le bas de la montille.	0 ,170
N° 11. — Autre montille, à Corbières. Échantillon moyen, à $0^{m},50$ dans le milieu de la montille	0 ,250
N° 19. — Montilles basses, boisées en pins pignons, près de la Rhée-Longue, quartier du Sauvage (petite Camargue). Échantillon pris près d'un grand pin, à $0^{m},40$.	0 ,430
Montilles boisées au Mas de Roy ($0^{m},50$)	0 ,330
— du Clamadou ($0^{m},50$).	0 ,360
Montille, à Faraman (d'après MM. Risler et Colomb-Pradel[1]) . . .	0 ,365

Les sables de montilles nivelées, en général moins purs que celui des montilles en place, à cause du mélange que produit le nivellement avec les sous-sols un peu gras, accusent une moindre pauvreté en azote et même parfois une richesse notable, si le sol est depuis longtemps fumé ou soumis à des empaillages abondants.

J'ai analysé un grand nombre de ces sables, cultivés en vigne, et,

1. *Dans quelles limites l'analyse chimique des terres peut-elle servir à déterminer les engrais dont elles ont besoin ?* Risler et Colomb-Pradel, p. 57. Nancy, 1887, Berger-Levrault et Cie, éditeurs.

quoique les titres figurent déjà dans les tableaux plus haut donnés, je les reproduis ci-dessous pour les rapprocher d'observations faites par d'autres auteurs, et aussi afin de les classer par rapport aux sables argileux, qui n'offrent pas l'immunité phylloxérique.

	AZOTE par kilogramme.
N° 3. — Vigne Robert, au N.-O. d'Aigues-Mortes. Couche superficielle de $0^m,30$ d'épaisseur	$0^{gr},500$
N° 4. — Même vigne, sous-sol, à $0^m,50$ de profondeur	0 ,350
N° 5. — Même vigne, sous-sol, à 1 mètre de profondeur	0 ,300
N° 6. — Vigne Lasserre, à l'est d'Aigues-Mortes. Couche de $0^m,40$	0 ,680
N° 7. — Sous-sol du précédent, à $0^m,75$	0 ,770
N° 13. — Sables foncés entourés de marais. Vigne de Pradet, propriété Louis Gros	0 ,700
N° 14. — Sous-sol sablo-marneux du précédent	0 ,490
N° 15. — Sables profonds (Neblons, couche de $0^m,65$), propriété Louis Gros	0 ,300
N° 16. — Le Tombeau, pièce en vignes depuis 1878 et autrefois cultivée en mûriers, propriété Louis Gros	0 ,370
N° 20. — Exploitation du Grand-Radeau au quartier du Sauvage, petite Camargue. Sables cultivés en vignes et recevant de forts empaillages. Couche de $0^m,50$	1 ,070
N° 21. — Sous-sol argileux, près du marais de la Rhée-Longue	0 ,560
N° 25. — Layalle. Sables entourés de marais. Partie où les vignes sont belles	0 ,580
N° 26. — Layalle. Partie où les vignes sont faibles, dans une dépression légère	0 ,700
N° 27. — Vignoble de Badet ($0^m,50$)	0 ,400
N° 28. — *Idem*	0 ,460
N° 30. — Mas de Roy. Vignes dans le sable	0 ,790
N° 31. — Même domaine. Autre pièce très fumée	0 ,820
N° 34. — Mas de la Ville. Vigne dans les sables	0 ,420

M. Müntz a donné les chiffres suivants[1] :

Moyenne des 4/5 du vignoble de Jarras, à la Compagnie des Salins du Midi. Sables profonds de $0^m,60$	Sol	$0^{gr},270$
	Sous-sol	0 ,270
Partie moins fertile et moins profonde dans le même domaine, sur 1/5 de la surface de la propriété. Profondeur, $0^m,40$	Sol	0 ,200
	Sous-sol	0 ,100

1. *Annales agronomiques*, 1894, t. II, 1er fascicule, p. 28 et suivantes.

MM. Risler et Colomb-Pradel[1] ont indiqué :

Pour un sable cultivé en vignes sur le Cordon de la Sylve, près d'Aigues-Mortes	$0^{gr},312$

Dans la catégorie des sables argileux, les teneurs en azote sont constamment supérieures ; ces sols sont infiniment plus fertiles et seraient préférés pour la culture des vignes, si la vigne n'y disparaissait point sous les attaques du phylloxéra.

	AZOTE par kilogramme.
C'est ainsi que le sable n° 1 amendé, près d'Aigues-Mortes, avec les curures du canal contient	$0^{gr},950$
Et dans son sous-sol (n° 2)	0 ,670
N° 17. — La Cépade, à Corbières (ayant reçu des eaux limoneuses).	0 ,690
N° 18. — La Pinède, à Corbières (ayant reçu des eaux limoneuses).	0 ,990
N° 22. — Cabane d'Astoin. Sables gras.	0 ,640
N° 23. — Maguelonne. Sables gras	0 ,400
N° 24. — *Idem.*	0 ,820
N° 29. — Badet. Sables gras.	1 ,130
N° 32. — Mas de Roy. Sables gras	1 ,300
N° 33. — *Idem.*	0 ,550

La nécessité de fumures azotées abondantes est connue de tous les viticulteurs qui exploitent les sables. Ils emploient des fumures annuelles, particulièrement sous forme de tourteaux de sésame dégraissés par le sulfure de carbone, à la dose de $0^{kg},300$ à $0^{kg},500$ par pied de vigne, c'est-à-dire par hectare 1 400 à 2 200 kilogr. C'est là une riche fumure azotée, car ces tourteaux renferment en moyenne 6.5 p. 100 d'azote, et l'hectare reçoit ainsi, par année, 90 à 150 kilogr. d'azote organique. « Des sols sableux (écrit M. Müntz[2]) comme ceux dont il s'agit (vignoble de Jarras) consomment rapidement les engrais azotés, la nitrification étant facilitée par la perméabilité de la terre. Il faut donc s'attendre à voir une portion seulement de cet azote entrer en jeu pour la nutrition de la plante, et le reste se

1. Ouvrage cité, p. 150.
2. *Annales agronomiques,* volume cité, p. 33.

perdre dans le sous-sol. Aussi le besoin d'engrais se renouvelle-t-il annuellement.

« On ne peut pas, en appliquant ces fumures azotées intensives, espérer enrichir le sol suffisamment pour que, à un moment donné, on puisse arrêter l'apport d'engrais. On se trouve donc en présence d'un sol qui, comme on dit, dévorant les engrais azotés, en exige le renouvellement au début de chaque année culturale. Cependant cet azote organique doit encore être préféré à l'azote minéralisé sous forme de nitrate de soude ou de sulfate d'ammoniaque.

« Dans les sols essentiellement perméables, dont les pluies enlèvent pour ainsi dire intégralement les éléments solubles, le nitrate de soude ne semble point désigné, à moins qu'on ne le donne par fractions successives, après que les pluies ont enlevé la dose précédente. Mais ce serait là une pratique culturale d'une application délicate et coûteuse et dont l'efficacité serait subordonnée à la fréquence et à l'abondance des pluies, c'est-à-dire à des circonstances atmosphériques impossibles à prévoir.

« Quant au sulfate d'ammoniaque, son apport à des sols légers et très calcaires donne lieu à des observations analogues. Dans de pareilles conditions, en effet, la nitrification de l'ammoniaque est extrêmement rapide et l'on se trouve pour ainsi dire dans le cas d'un apport de nitrate.

« Les engrais organiques, au contraire, mettent une certaine lenteur à nitrifier, et il n'est pas impossible que la récolte suivante retrouve encore quelque peu de l'azote échappé à la nitrification dans le cours de l'année précédente. De plus, la matière organique carbonée dans laquelle cet azote se trouve engagé, tout en subissant une combustion active, n'en reste pas moins dans la terre pendant une partie de l'année culturale et contribue à retenir l'humidité dans le sol, qui se trouve ainsi avoir plus de fraîcheur. L'emploi des engrais organiques dans le cas spécial dont il s'agit est donc judicieux. »

Ces réflexions et observations de l'éminent professeur de l'Institut national agronomique sont à retenir. Dans l'important travail qu'il a publié sur la statistique des vignobles de France, il a démontré en

outre, en parlant du vignoble de Jarras, l'écart considérable qui existe entre la proportion d'azote contenue dans les produits de la vigne et celle appliquée sous forme de fumure.

	PAR HECTARE.
Azote absorbé annuellement par la vigne.	59 kilogr.
— apporté par la fumure.	151 —

(500 gr. de tourteau de sésame sulfuré par souche.)

Cette disproportion montre tout l'intérêt que peut présenter un champ d'expériences dans les sables du littoral pour déterminer quelle est la meilleure forme à choisir pour l'apport de l'azote. Dans un travail antérieur, M. Müntz a étudié la rapidité très inégale avec laquelle se détruisent différentes matières azotées en se transformant en nitrates sous l'influence des ferments. Certaines d'entre elles, dont la décomposition est lente, pourraient être essayées en comparaison avec le fumier et les tourteaux. Dans ce milieu spécial si perméable des sables, on est porté à penser que la présence de l'humus doit jouer un rôle des plus utiles, tant dans le but de modifier l'état physique du terrain que pour lui conférer un pouvoir absorbant qui fait défaut. Les engrais azotés qui seraient capables de laisser beaucoup d'humus et qui offriraient la propriété de se nitrifier lentement permettraient peut-être de réduire les pertes d'azote. On sait que dans les sols perméables, les fumiers consommés et riches en humus, qui contiennent l'azote à l'état insoluble, fournissent de meilleurs résultats que les fumiers dont la fermentation est incomplète. La question est d'autant plus intéressante que, suivant toutes probabilités, la fumure azotée est la seule vraiment indispensable dans les sables du delta.

L'acide phosphorique s'y trouve en effet en proportions très notables, surtout si l'on tient compte de la facilité extrême avec laquelle les racines se ramifient et pénètrent dans les sables, où elles se développent en chevelus abondants. La liste qui suit renferme les dosages d'acide phosphorique des différents échantillons que j'ai étudiés. J'y ai joint les analyses d'autres auteurs.

1° Sable de montilles en place :

	ACIDE PHOSPHORIQUE par kilogr.
N° 8. — Sol. Montille basse, à Aigues-Mortes	0gr,690
N° 9. — Sous-sol. Montille basse, à Aigues-Mortes	0 780
N° 10. — Montille, à Corbières	1 010
N° 11. — *Idem*	0 770
N° 19. — Montille basse, près la Rhée-Longue (petite Camargue).	0 780
Montille à Faraman (Risler et Pradel)	0 596

2° Sables nivelés et cultivés en vignes :

N° 3. — Vigne Robert. Couche de 0m,30	0gr,940
N° 4. — Sous-sol, à 0m,50	0 780
N° 5. — Sous-sol, à 1 mètre	0 690
N° 6. — Vigne Lasserre, à l'est d'Aigues-Mortes	1 040
N° 7. — Sous-sol, à 0m,75	0 940
N° 13. — Sables foncés entourés de marais. Vigne du Pradet	1 350
N° 14. — Sous-sol marneux	1 500
N° 15. — Sables profonds. Couche de 0m,65. Neblons, à Corbières.	1 290
N° 16. — Le Tombeau, cultivé en vignes depuis 1878	1 240
N° 20. — Grand-Radeau. Sol	0 960
N° 21. — Sous-sol argileux	1 300
N° 25. — Layalle. Vignes belles	1 060
N° 26. — Layalle. Partie de vignes faibles	1 300
N° 27. — Vignes à Badet	1 260
N° 28. — *Idem*	1 110
N° 30. — Mas de Roy	1 280
N° 31. — *Idem*	1 340
N° 34. — Mas de la Ville	0 760

M. Müntz a trouvé à Jarras :

Partie la plus fertile : les 4/5 du domaine.	Sol	0gr,820
	Sous-sol	0 850
Partie la moins fertile : le 1/5 du domaine	Sol	0 680
	Sous-sol	0 700
Couche salée amère, à 0m,80 de profondeur		0 890

M. Audoynaud a analysé trois échantillons de sables pris à Listelle, dans les dunes les plus récentes. Le n° 3 est le plus fertile et borde un canal :

	ACIDE PHOSPHORIQUE par kilogr.
N° 1	0gr,800
N° 2	0 700
N° 3	1 100

La richesse en acide phosphorique varie donc, pour les sables du

delta du Rhône, entre $0^{gr},700$ et $1^{gr},300$ par kilogramme, chiffres relativement élevés, si l'on tient compte de la profondeur des sables cultivés, qui atteint en général $0^{m},60$ à $0^{m},80$ et souvent plus de 1 mètre, si l'on tient compte surtout, ainsi que nous l'avons mentionné plus haut, de la facilité que les racines rencontrent pour se multiplier dans ce milieu perméable. Les fumures phosphatées sont inusitées dans les sables, car depuis longtemps on a reconnu qu'elles ne marquaient pas. D'ailleurs la proportion de ce corps qui existe dans les engrais, les tourteaux par exemple, lorsqu'on les emploie à aussi hautes doses qu'à Aigues-Mortes, est plus que suffisante pour compenser la quantité d'acide phénique absorbée par la récolte de la vigne. C'est un fait que M. Müntz a mis en évidence.

Les sables gras, ainsi que le montre déjà l'analyse de quelques sous-sols plus haut mentionnés, sont bien plus riches en acide phosphorique que les sables mobiles. Tandis que, dans les sables maigres et profonds, la proportion de ce corps tend à diminuer en profondeur par rapport à la couche superficielle, elle augmente, au contraire, dans les sables limités à peu de distance par un sous-sol gras. Les analyses suivantes se rapportent aux sables agrégés qui n'offrent plus l'immunité phylloxérique. Les dosages d'acide phosphorique de ces sols sont analogues à ceux des sols alluviaux de la Camargue, parmi lesquels d'ailleurs plusieurs d'entre eux pourraient être classés. Lorsque les dépôts éoliens ont été peu importants ou que des dunes basses ont été nivelées à un niveau tel que des eaux limoneuses ont pu les recouvrir par moments, la démarcation entre les sols alluviaux et les sols d'origine éolienne disparaît.

		ACIDE PHOSPHORIQUE par kilogr.
N° 1.	— Sable amendé avec les curures du canal d'Aigues-Mortes.	$1^{gr},120$
N° 2.	— Sous-sol du même.	1 010
N° 17.	— La Cépade. Sables nivelés à Corbières ayant reçu des eaux limoneuses du Vistre et du Vidourle.	1 500
N° 18.	— La Pinède. Sables nivelés à Corbières ayant reçu des eaux limoneuses du Vistre et du Vidourle	1 480
N° 22.	— Sables gras, aux Cabanes d'Astoin	1 400
N° 23.	— Sables gras, à Maguelonne	1 220
N° 24.	— *Idem*.	1 380
N° 29.	— Sables gras, à Badet.	1 650
N° 32.	— Sables gras, au Mas du Roy.	1 800
N° 33.	— *Idem*	1 370

On rencontre en Camargue beaucoup de sols analogues qui ont pu se former soit par la rupture des dunes sur des cordons littoraux anciens, soit par l'effet de la mer pénétrant dans les lagunes ou par les diramations du fleuve.

La potasse soluble dans les acides est parfois très peu abondante dans les sables de dunes et, si l'on s'en tenait trop étroitement aux conventions admises pour l'interprétation des analyses, on serait amené à conclure que l'intervention des fumures potassiques est nécessaire.

Les montilles en place ont accusé les teneurs qui suivent, par kilogramme de sable sec :

N° 8. — Montille basse, à Aigues-Mortes. Sol.	$0^{gr},620$
N° 9. — Montille basse, à Aigues-Mortes. Sous-sol	0 780
N° 10. — Montille de Corbières	0 590
N° 11. — *Idem.*	0 600
N° 19. — Montilles basses, à la Rhée-Longue	0 660
Montille, à Faraman (Risler et Pradel)	1 445

Les sables nivelés et consacrés à la vigne ont donné les taux qui suivent :

N° 3. — Vigne Robert. Couche de $0^{m},30$	$0^{gr},820$
N° 4. — Sous-sol, à $0^{m},50$.	0 700
N° 5. — Sous-sol, à 1 mètre	0 620
N° 6. — Vigne Lasserre	0 940
N° 7. — Sous-sol, à $0^{m},75$.	0 910
N° 13. — Sables foncés. Vigne du Pradet.	1 110
N° 14. — Sous-sol marneux.	0 850
N° 15. — Sables profonds, neblons, à Corbières	0 650
N° 16. — Le Tombeau, cultivé en vignes depuis 1878	0 760
N° 20. — Grand-Radeau	0 730
N° 21. — Sous-sol argileux et salé	3 990
N° 25. — Layalle. Vignes belles	0 780
N° 26. — Layalle. Partie de vignes faibles	0 850
N° 27. — Badet.	0 850
N° 28. — *Idem.*	0 740
N° 30. — Mas de Roy	1 810
N° 31. — *Idem.*	1 530
N° 34. — Mas de la Ville	0 750

A Jarras, d'après M. Müntz :

Partie la plus fertile : les 4/5 du domaine. .	Sol.	$0^{gr},810$
	Sous-sol.	0 910
Partie la plus faible : le 1/5 du domaine . .	Sol.	0 970
	Sous-sol.	1 030
Couche salée amère, à $0^{m},80$.		1 270

La richesse des sables purs des dunes du delta du Rhône en potasse soluble à chaud dans les acides est donc, pour la plupart des échantillons, inférieure à 1 millième. Quelques sables riches et fortement fumés, tels que ceux du Mas de Roy, dépassent notablement cette teneur ; mais ce sont là des exceptions. Or, d'après les conventions admises, l'emploi des engrais potassiques devient utile dès que la teneur n'atteint pas 1 gr. par kilogramme. Encore est-ce là le chiffre réduit admis par MM. Risler et Colomb-Pradel pour la potasse soluble dans l'acide nitrique et la terre soumise à l'attaque sans pulvérisation. MM. de Gasparin et Joulie ont admis des moyennes plus élevées. Nos attaques ont été faites dans les conditions indiquées par MM. Risler et Pradel, et nous croyons néanmoins que cette moyenne basse, fixée par eux, est trop élevée pour des sols qui contiennent, comme les sables de dunes du Rhône, une grande proportion de débris feldspathiques et micacés. Les sables du Mas de Roy sont particulièrement riches en mica blanc et jaune, d'où peut-être leur teneur plus élevée en potasse. Si l'analyse par l'attaque nitrique n'indique qu'une faible teneur en potasse, l'attaque fluorhydrique met en liberté des quantités considérables de cette base. M. Berthelot a émis cette opinion que rien n'autorise à penser que les plantes sont impuissantes à extraire la potasse engagée dans les silicates insolubles dans les acides. Par contre, M. Schlœsing considère que la potasse utile à la végétation, c'est-à-dire assimilable, est celle seule que les acides faibles et employés à froid, jusqu'à décomposition du carbonate de chaux, peuvent mettre en liberté. Les opinions des agronomes les plus compétents sont donc actuellement peu concordantes quant à la valeur qu'il convient d'attribuer aux dosages de la potasse. Dans les sables lavés par l'eau des pluies, il est manifeste que la potasse soluble est en proportion négligeable. Cependant,

l'emploi des engrais potassiques est inusité dans les sables, malgré que les vignes, d'après les observations de M. Müntz sur le vignoble de Jarras, enlèvent annuellement une dose élevée de cet alcali. Les fumures apportent, d'après ses analyses, 33 kilogr. par hectare de potasse, tandis que les produits de la vigne en enlèvent 72 kilogr. Tout en insistant sur la grande importance des fumures azotées, M. Müntz ajoute : « Peut-être y aurait-il avantage à y associer des sels potassiques. » L'éminent chimiste dit aussi plus loin, en constatant cette disproportion entre la potasse apportée par les fumures et celle extraite par la vigne : « Pour la potasse, il est probable que celle qui se trouve dans l'eau de mer intervient dans une certaine mesure, quoique les racines de la vigne ne pénètrent pas dans ce milieu. »

Nous avons rencontré à Aigues-Mortes, au commencement de l'année 1894, un petit champ d'expériences créé au quartier de la *Pataquière*, par M. Louis Gros, à titre d'enseignement pour les écoles de la ville. C'était une bonne fortune pour constater *de visu* l'influence de cette fumure spéciale. Les résultats, très nets, marquaient que la fumure azotée seule, fumier, nitrate de soude, avait impressionné les cultures, l'avoine particulièrement. La potasse, l'acide phosphorique, employés seuls ou mélangés, étaient restés sans action. Les sables de la Pataquière sont analogues à ceux analysés sous le n° 15, qui renferment moins de 1 millième de potasse soluble dans les acides. Il est donc probable que l'apport de fumures spéciales potassiques est superflu dans les sables. Les fumures de tourteau employées comme on le fait à Aigues-Mortes fournissent un quantum de potasse sans doute insuffisant pour la récolte ; mais le surplus est emprunté aux sables qui, apparemment, en cèdent suffisamment pour les besoins de la végétation. Une expérience faite sur des sables tout à fait maigres serait toutefois indispensable pour fixer ce point délicat d'appréciation.

Suivant la remarque de M. Müntz, il est d'ailleurs bien probable que la potasse peut être apportée par les eaux marines qui, au voisinage des vignes, pénètrent dans les fossés. La richesse très grande en potasse des sols argileux salés, qui, à une profondeur plus ou moins grande, constituent le sous-sol des îlots sableux, — richesse

qui persiste après le lavage des argiles sous l'influence des eaux pluviales, — permet aussi de comprendre comment les racines des vignes peuvent rencontrer cet alcali là où le sable est insuffisant.

Dès que l'on s'adresse aux sables argileux, les taux de potasse augmentent en effet dans de grandes proportions, ainsi que le démontrent les dosages effectués sur les sables agrégés n'offrant plus l'immunité phylloxérique :

	POTASSE SOLUBLE dans les acides par kilogr. de terre sèche.
N° 1. — Sables amendés par les curures du canal d'Aigues-Mortes	2gr,130
N° 2. — Sous-sol du même	2 000
N° 17. — La Cépade. Sables, à Corbières, ayant reçu les eaux limoneuses du Vistre et du Vidourle	1 110
N° 18. — La Pinède. Sables, à Corbières, ayant reçu les eaux limoneuses du Vistre et du Vidourle	1 630
N° 22. — Sables gras, aux Cabanes d'Astoin	3 990
N° 23. — Sables gras, à Maguelonne	1 290
N° 24. — *Idem*	2 100
N° 29. — Sables gras, à Badet	3 160
N° 32. — Sables gras, au Mas de Roy	2 220
N° 33. — *Idem*	2 360

J'ai effectué quelques dosages de la potasse dans le résidu insoluble des attaques par les acides. Je les reproduis ci-dessous, en même temps que celui de la potasse soluble, pour fixer le taux de la potasse totale existant dans les sables soumis à cet examen :

	POTASSE PAR KILOGRAMME		
	soluble dans les acides.	insoluble.	totale par kilogr.
N° 8. — Montilles, à Aigues-Mortes	0gr,620	20gr,50	= 21gr,12
N° 15. — Neblons, à Corbières	0 650	20 55	= 21 20
N° 13. — Vigne du Pradet	1 110	21 70	= 22 81
N° 27. — Sables de Badet	0 850	20 56	= 21 41

Sous forme de silicates inattaquables aux acides, les sables du delta du Rhône renferment donc de grandes quantités de potasse,

plus encore que les sols alluviaux de la Camargue, où cette réserve paraît inépuisable.

Ces sables ne renferment que de très petites proportions d'acide sulfurique. Nous renverrons au tableau général des analyses pour les dosages qui y figurent. Tous renferment de la magnésie dans la proportion d'environ 1/2 p. 100.

Quant au carbonate de chaux, les sables éoliens du delta du Rhône en renferment une proportion élevée, environ un cinquième de leur poids. Les titres en calcaire varient entre 16 et 25 p. 100. La couche du sous-sol est généralement plus riche en carbonate de chaux que le sol et plus riche aussi que la partie profonde de la couche sableuse.

Pour résumer cette étude, nous dirons que les sables de dunes du delta du Rhône constituent un support physique excellent pour les végétaux arbustifs, tels que la vigne, dont les racines peuvent aller chercher profondément l'humidité du sous-sol, généralement formé par une couche argileuse que recouvre une nappe aquifère douce, si les pluies ont été suffisamment abondantes. Quand la masse du sable provenant du nivellement de la montille est suffisamment profonde, les sables peuvent être considérés, malgré leur pauvreté spécifique, comme assez fertiles, sauf en azote, élément pour lequel ils sont très mal pourvus, les sables calcaires étant des milieux très nitrifiants où les substances organiques sont rapidement oxydées et où les matières azotées disparaissent sous forme de nitrates, en grande partie perdus pour la végétation. L'acide phosphorique, au contraire, y figure en quantité notable et apparemment suffisante pour les besoins de la végétation pendant une longue durée de temps, pendant laquelle l'emploi des phosphates sera superflu. La potasse existe en abondance, mais sous une forme insoluble. Toutefois, quoiqu'on ne puisse l'affirmer sans des expériences précises, dans les sables les plus pauvres en potasse soluble, l'emploi des engrais potassiques paraît être peu utile, soit que, sous l'effet des agents atmosphériques et par l'action propre des racines des plantes, la potasse insoluble intervienne pour suffire aux besoins de la végétation, soit que, au voisinage du milieu marin, la potasse du sous-sol argileux, fixée dans l'argile, prenne une part dans la nutrition des

racines. Les apports fertilisants peuvent donc être constitués presque uniquement par de l'azote ; mais il importe de fournir cet azote sous forme de matières organiques abondantes et lentement destructibles, qui agissent à la fois sur les sables d'une manière favorable par les modifications physiques qu'ils lui confèrent et qui, en ne livrant que peu à peu l'azote assimilable, préviennent une déperdition trop abondante de cet élément. Tel est le rôle des forts empaillages, des fumiers très consommés, des tourteaux de graines qui toutefois sont oxydés rapidement, ce qui oblige à en faire une consommation très exagérée par rapport aux besoins de la végétation.

Nous avons insisté assez longuement sur l'immunité des sables. La cause réelle de cette immunité est encore mystérieuse. La mobilité des sables, leur pureté, la finesse de leurs particules sont peut-être les seules causes de cette immunité, si l'on admet que ces qualités déterminent, par une simple action mécanique, la destruction du parasite de la vigne, l'obstacle à sa pénétration et à sa circulation le long du tronc et des racines. Il est, en tout cas, un fait certain, c'est que dès que les sables renferment assez de parties fines, siliceuses et argileuses impalpables pour s'agréger, l'immunité phylloxérique disparaît. La capillarité ascensionnelle des sables joue incontestablement un rôle dans l'immunité, et cette faculté est fort réduite par de petites proportions d'éléments impalpables. Mais on peut douter que l'eau agisse par elle-même, ainsi qu'on l'a soutenu, c'est-à-dire en asphyxant le phylloxéra. S'il en était ainsi, les sables faiblement agrégés et non indemnes qui, souvent, existent au voisinage des sables indemnes, qui sont comme eux pénétrés d'eau pendant une partie de l'année, devraient aussi être préservés des atteintes phylloxériques par cette sorte de submersion naturelle. En reliant au contraire l'action de l'eau à l'hypothèse mécanique, c'est-à-dire en admettant que l'eau favorise le tassement du sable et, par suite, l'action mécanique de ses particules sur les phylloxéras introduits dans le sol, on comprend mieux le rôle ascensionnel des sables en ce qui a trait à leur immunité phylloxérique.

L'un des points importants à examiner en ce qui touche l'immunité des sables a trait aux modifications qu'ils peuvent éprouver

sous l'influence des fumures. Leurs propriétés physiques, en particulier le pouvoir d'ascension capillaire, n'en sont-ils pas modifiés ? Le tourteau, par exemple, à cause de son état pulvérulent, donne, malgré la faible proportion qu'on en consomme par rapport à la masse du sol, un état d'agrégation sensible aux particules sableuses, sans doute par suite de l'humidité qu'il y retient. Des engrais organiques pulvérulents et plus lentement décomposables agiraient peut-être d'une manière encore plus marquée. Cette étude est à faire, comme beaucoup d'autres que nous n'avons pu ici qu'effleurer en exécutant quelques essais relativement au pouvoir d'ascension de l'eau dans les sables. Mais il est certain que l'immunité des sables n'a pas à souffrir de ces fumures organiques, tandis que leur fertilité y gagne beaucoup.

Dans la série des sables examinés, il s'en trouve en effet quelques-uns dont la mise en culture est fort ancienne. Le n° 15 du domaine de Corbières est occupé depuis 1878 par la vigne, mais il était depuis bien longtemps auparavant cultivé et planté en mûriers. La pièce du Tombeau, du même domaine (n° 16), est plantée en vignes depuis 1867. Or l'analyse physique montre que ces sables cultivés, amendés par des fumures organiques variées depuis vingt à trente ans, n'ont rien perdu de leur immunité. Ils sont pauvres en substance organique et leur taux en azote est faible ($0^{gr},300$, $0^{gr},370$ par kilogramme). Si ces fumures organiques sont sans inconvénient, parce qu'elles ne laissent que des résidus terreux insignifiants, les composts, vases de marais ou de fossés, curures de canaux, sont, au contraire, — comme l'expérience l'a montré, — d'un emploi dangereux, même à faibles doses, parce qu'ils apportent dans les sables des particules limoneuses impalpables qui suffisent pour les agréger. L'altération, quoique ne portant que sur la tranche superficielle du terrain, celle intéressée par les labours, ouvre la porte au phylloxéra pour toute cette partie du sol. Le seul remède pour des sols qui ont perdu leur immunité du fait de ces apports malencontreux est un défoncement nouveau exécuté de telle manière que le sable pur soit ramené à la surface, tandis que celui sali par les limons sera placé au fond des fossés ouverts pour l'opération.

Le salant de la Camargue.

Sans la présence des sels nuisibles qui l'imprègnent, la terre de Camargue, dont la profondeur est au point de vue agricole illimitée, serait d'une extrême fertilité. La preuve surabondante en est fournie par l'admirable productivité des « ségonneaux », terres lavées, comprises entre le fleuve et ses digues. Le salant est le fléau véritable de ce territoire, fléau qui s'est accusé de plus en plus, à mesure que les endiguements du Rhône ont mieux résisté à ses crues et que les travaux particuliers, puis ceux de l'État, leur ont donné une stabilité qui rend les incursions du fleuve dans son delta impossibles.

Le remède est dans un système complet de canaux d'irrigations et d'écoulages, travail d'ensemble qui s'impose et qui est indispensable pour la mise en valeur du delta. N'est-ce point une anomalie vraiment choquante de voir ce vaste territoire, si richement doté, annihilé par un mal dont les eaux du Rhône, immédiatement voisines, constituent le remède assuré. Une faible part de ces eaux, qui se perdent à la mer depuis des siècles, suffirait pour modifier en peu d'années une région improductive pour la plus grande partie de son étendue. C'est là sans doute un problème coûteux à réaliser, mais bien digne de fixer l'attention des ingénieurs hydrauliciens, problème mûr maintenant, car la solution en est certaine ; il n'existe, en effet, aucun doute sur les résultats du dessalement des terres, quoique l'évidence de ces résultats ait été bien longtemps méconnue, même par d'éminents agronomes.

« Il n'y a point de comparaison possible, écrivait en effet M. P. de Gasparin[1], entre les *polders* et les terrains salants de la basse vallée du Rhône. Depuis bien des années pour un certain nombre, depuis des siècles pour la plupart, depuis les âges géologiques pour quelques-uns d'entre eux, la communication avec la mer n'existe plus. Ils ont subi constamment l'action des eaux météoriques, les débor-

1. Des terrains salants du S.-E. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1er semestre 1883, p. 990)

dements des rivières, l'écoulement des canaux de desséchement sans communication directe avec les eaux salées et, cependant, leur condition ne s'est pas modifiée.

« Ils sont toujours des terrains salants et le seront encore, ne portant que la végétation caractéristique de ces terrains. » Et M. P. de Gasparin en déduit que l'hypothèse formulée par lui en 1851[1], au sujet de la cause essentielle de la salure de la Camargue, peut seule rendre compte de cette persistance. Cette salure serait due à *l'existence d'une nappe salée alimentée par des sources salées, dont les émergences viendraient former en Camargue les multiples plaques de sansouïres qu'on y rencontre.*

« Puisqu'on trouve encore des terrains salants, ajoute-t-il, à des altitudes de 100 mètres au-dessus du niveau de la Méditerranée, puisqu'une vaste formation gypseuse s'étend de la Sainte-Victoire, près d'Aix, jusqu'à Malaucène, au pied du mont Ventoux, puisque toutes les sources qui émergent dans la basse vallée contiennent en des proportions variées du sel marin, quoique venant à eau courante de la vallée de la Durance; puisque les dépôts de sel gemme sont souvent les associés des formations gypseuses, n'est-il point permis de craindre que les sources salées qui entretiennent la salure d'une partie des sansouïres ne viennent de dépôts éloignés et indéfinis en étendue, en sorte que *l'assainissement de ces terrains serait pour cette partie-là un problème insoluble?* »

L'hypothèse de M. P. de Gasparin conserve sa valeur pour certains plateaux de la vallée du Rhône où, en effet, le salant peut être le résultat de l'accumulation des produits amenés par le délavage de terrains supérieurs, accumulation créée par l'insuffisance des pluies et la concentration des eaux sous l'influence du climat, mais elle n'est pas admissible dans la Camargue. Barral n'a pas hésité à assigner pour cause unique de la salure de ce territoire sa formation au sein de la Méditerranée et, en vérité, il est difficile d'imaginer une autre cause, quand celle-ci est si naturelle, si apparente même.

Quant à la différence avec les polders de l'Océan du Nord, dont

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences,* 1851, t. XXXII, p. 696.

le dessalage s'effectue presque sans difficultés, elle tient à la nature aride du climat méridionnal et à celui plus aride encore de la Camargue. Cette considération, qu'on n'a pas fait valoir jusqu'ici, nous paraît capitale et de nature à rendre compte par elle seule de l'abondance des efflorescences ou sansouïres en Camargue, de la difficulté du dessalement des terres. L'action de ce climat aride s'est fait sentir depuis longtemps.

Les eaux de la mer retenues dans les lagunes, en arrière des cordons littoraux successifs qui ont pris naissance à mesure des progrès de l'atterrissement, s'y évaporaient sous l'action des vents secs qui règnent en maîtres sur cette plaine. Le delta ne pouvait être que partiellement et à de longs intervalles parcouru par les eaux débordantes du fleuve. Le pouvoir dissolvant des eaux fluviales n'exerçant ses effets que durant de courtes périodes ne pouvait balancer le phénomène de concentration plus général et plus constant. La dépression du Vaccarès montre que, dès la première période de formation du delta, la plus grande partie des terres s'est trouvée à l'abri de l'incursion des crues. Les apports colmatants se sont constamment portés vers la mer, en accroissant les dimensions du delta sans l'exhausser d'une manière sensible. Seules les eaux météoriques pouvaient avoir une action générale ; mais leur proportion était et est toujours insuffisante pour conduire au dessalement ; elles n'opèrent qu'un délavage superficiel. On trouvera à la fin de ce mémoire un résumé mensuel des observations udométriques faites en Camargue pour une longue série d'années, et il suffira de parcourir ces tableaux pour constater à la fois l'insuffisance et l'irrégularité des pluies. L'un d'eux comprend les observations faites par la Commission météorologique des Bouches-du-Rhône depuis 1882, dans cinq stations de la Camargue : Arles, l'Étourneau, Giraud, Faraman et les Saintes-Maries. L'autre résume les observations faites à Aigues-Mortes, depuis l'année 1871. Si l'on admet pour la caractéristique d'un climat aride une moyenne minima de 500 millimètres de tombés d'eau annuelle, on verra, en parcourant ces tables, que bien des années sont restées en Camargue très au-dessous de ce chiffre. De plus, il ressort de l'examen de ces mêmes tableaux, que les pluies durent peu et qu'une forte partie du total annuel est le résultat

d'orages compensant d'une manière fort insuffisante de longs mois de sécheresse. Ces pluies orageuses ne pénètrent que très incomplètement un sol limoneux et conduisent à la formation des sansouïres, c'est-à-dire des accumulations du salant dans les dépressions très légères et à peine sensibles du sol, car la planitude générale ne permet guère l'entraînement vers de plus vastes dépressions, telles que le Vaccarès et les étangs inférieurs. La permanence du sel est donc bien la conséquence naturelle de l'aridité du climat, caractérisée par l'intensité de l'évaporation superficielle et l'insuffisance ainsi que l'irrégularité des pluies. C'est en cela principalement que les terrains salés du Sud-Est, comme aussi *a fortiori* ceux de l'Algérie et de la Tunisie, diffèrent profondément des plaines salées conquises sur l'Océan.

Le climat aride doit être aussi invoqué comme la cause essentielle du salant dans les terres hautes signalées par M. P. de Gasparin, terres que nous comptons examiner comme suite du présent mémoire. Mais là, l'origine du salant est bien différente, car elle résulte apparemment des phénomènes de délavages de terres supérieures, comprenant des massifs gypseux, tels que ceux signalés par M. de Gasparin, donnant naissance à des sources saumâtres, dont les eaux s'accumulent et s'évaporent dans des plaines formées de terrasses anciennes, plus ou moins élevées au-dessus du niveau de la mer. En Algérie ou en Tunisie, les surfaces occupées par des terres salées élevées sont considérables par le seul fait d'une évaporation beaucoup plus active. Telles sont les notions nouvelles que les importants travaux de M. E.-W. Hilgard, de l'Université de Berkeley, en Californie, ont grandement diffusées et qui fournissent une explication rationnelle de la permanence du sel ou de sa présence dans des terrains où l'on avait peine à comprendre les causes de son accumulation.

L'étude des terres salées est entourée de difficultés, car le phénomène du salant est placé sous la dépendance de conditions climatériques qui varient constamment. La végétation manifeste la résultante de ces actions temporaires, tantôt affaiblies, tantôt aggravées du salant. Pour suivre dans le terrain les mouvements des sels solubles, pour apprécier la nocuité plus grande de quelques-uns d'entre eux,

il faudrait des observations constantes sur place. J'ai dû me borner à rapporter de mes nombreuses excursions en Camargue une foule de matériaux que j'ai ensuite examinés au laboratoire, afin d'élucider au mieux la nature du salant dont souffre ce territoire. Une étude complète ne serait possible que dans les conditions où elle a été opérée dans des pays étrangers, en créant à cet effet des stations expérimentales comme celles de l'État de Californie, stations qui ont fourni des documents importants et qui ont permis de guider les propriétaires dans l'emploi de procédés spéciaux pour combattre une certaine nature de salant, le salant alcalin.

Cette recherche de la nature des sels d'efflorescence qui apparaissent sur les terres était particulièrement intéressante. En Amérique, dans les États de Californie et de Washington, en Asie dans l'Inde, en Europe dans la basse plaine hongroise, enfin en Afrique, notamment en Égypte et au Fezzan, on a reconnu que le chlorure de sodium, ou sel marin commun, n'était pas toujours la seule substance nuisible à incriminer. D'autres corps agissent à des doses beaucoup plus faibles, notamment le carbonate sodique. Ces notions nouvelles ont été introduites dans l'examen des régions salées et particulièrement des contrées arides, à la suite des remarquables études entreprises en Californie par M. le professeur E.-W. Hilgard, directeur de la station agronomique de Berkeley. Un résumé des travaux de ce savant agronome figure dans le beau mémoire qu'il a fourni au sujet de l'*Influence du climat sur la formation et la composition des sols*, mémoire qui a paru dans les *Annales de la science agronomique*[1] et qui renferme un chapitre spécial sur les terrains alcalins. Les carbonates alcalins qui ont été signalés comme accompagnant le sel marin et les sulfates alcalins dans ces régions à efflorescences salines sont infiniment plus toxiques pour les plantes que les sels neutres, chlorures et sulfates, etc., et, dans certains milieux, notamment en Californie, ce sont eux qui jouent dans les cultures le rôle le plus néfaste.

---

1. Revue citée. Neuvième année, t. II, p. 92 et 395. Le mémoire de M. Hilgard a été traduit par M. Villeboutchévitch, qui y a ajouté une bibliographie des terrains salés et des notes fort intéressantes.

Quoique les terres de la Camargue offrent manifestement, avec leurs salsolacées si abondantes, l'exemple du salant maritime ou salant vrai, les observations de M. Hilgard étaient très suggestives au sujet de la présence, néanmoins possible, de manifestations alcalines. La question était intéressante à étudier, car elle se lie intimement au dessalage des terres, par lequel la nature des sels nuisibles peut être modifiée sous diverses influences qui apparaîtront plus nettement au cours de cet exposé.

Nous verrons d'ailleurs qu'en effet le salant alcalin, quoiqu'il ne joue en Camargue qu'un rôle assez effacé, apparaît quelquefois assez nettement pour que sa présence soit à surveiller.

La réaction qui donne naissance aux carbonates alcalins est, d'après M. E.-W. Hilgard, l'une de celles qui doivent se produire d'une manière universelle, principalement dans les régions arides. Or, la faible abondance et surtout l'irrégularité des pluies place la Camargue près de la limite de ce genre de climat.

« Le fond de la réaction, dit M. Hilgard, consiste dans le fait, qu'en présence de l'acide carbonique libre les carbonates de chaux ou de magnésie, en contact avec des sulfates ou chlorures alcalins, donnent des carbonates alcalins et des sulfates ou chlorures terreux; lequel résultat persiste tant que les sels alcalins continuent à renfermer tant soit peu d'acide carbonique en excès sur le carbonate normal (sesquicarbonate). Or, dans la nature, pareil excès existe presque toujours, plus particulièrement dans les sols riches en humus, où l'air circulant à l'intérieur est toujours fortement chargé d'acide carbonique ; plus l'acide carbonique est en abondance et plus les solutions sont étendues, plus l'échange est complet : dans les solutions contenant moins de 1 gramme par litre, la totalité du sulfate alcalin se transforme en carbonate.

« Des carbonates alcalins se formeront donc sur tous les points où il y aura dégagement actif d'acide carbonique, en présence du carbonate de chaux et des sels neutres de soude ou de potasse, aussi bien dans les sols que dans les marais et étangs, pourvu que ces derniers soient couverts de végétaux en pleine vie ou renfermant des restes végétaux en décomposition; dans le cas de sulfates alcalins, le phénomène a plus de facilité à amener des résultats défi-

nitifs considérables que dans celui de chlorures, à cause du peu de solubilité du sulfate de chaux qui échappe ainsi, pour la plus grande partie, à toute rétroaction possible, tandis que les chlorures terreux resteraient en solution à la fois avec les surcarbonates alcalins.

« Ce qui précède fait comprendre pourquoi l'alcali noir (carbonate de soude) est représenté de préférence dans les bas-fonds et surtout dans les vallées très riches en humus ; le dégagement très actif d'acide carbonique n'est pas, dans ce cas, la seule condition spécialement favorable ; la plus grande humidité, en raison de la topographie et du caractère plus argileux des sols des bas-fonds, a aussi son importance.

« Le carbonate de soude est nocif pour les racines des plantes, qu'il corrode au contact et coupe littéralement. Le dommage est plus grave encore que celui dû à une pareille section, car le sel dissout se répand dans les plaies ouvertes.

« Mais ce ne sont point là les seuls dommages. Le carbonate sodique possède cette propriété de rendre l'argile incoagulable, de telle sorte que, dans les terrains forts, imprégnés de ce sel, les travaux de culture sont rendus impraticables par la compacité du terrain. »

« Chaque plaque de terrain alcalin est une dépression imperméable aux eaux. Sous l'effet des sécheresses, des mottes se forment qui sont tout à fait irréductibles. L'alcali dissout l'humus de la terre, de telle sorte que les taches de salant alcalin offrent sur leurs bords une coloration foncée, d'où le nom populaire d'*alcali noir*. Les eaux des flaques alcalines sont également très colorées. Cette dissolution de l'humus conduit à un appauvrissement considérable du sol.

« Un sol alcalin qui est chargé seulement de 0.08 p. 100 de carbonate sodique devient pratiquement inutilisable. Il est clair que les effets de ce sel sont surtout sensibles dans un terrain argileux, à cause de cette propriété qu'il possède, d'empêcher la coagulation de l'argile. »

Dans son important mémoire et dans d'autres publications en

langue anglaise[1], il existe divers passages du même auteur qui mériteraient d'être cités et qui caractérisent le salant alcalin observé dans plusieurs vallées californiennes. Le même auteur a fourni dans ces publications des analyses complètes nombreuses des sels solubles extraits des terres et des efflorescences à caractère alcalin. A côté du carbonate de soude, qui existe en proportion plus ou moins grande et quelquefois dominante, on remarque la présence de phosphates et de nitrates alcalins.

Voici encore, pour terminer la description des caractères apparents du salant alcalin, un passage fort intéressant du mémoire de M. Hilgard :

« 1° Si vous voyez des endroits qui, bien qu'humides, paraissent extérieurement assez fermes et que, cependant, à l'essai, les hommes ou animaux passent au travers de la mince croûte superficielle et s'enlisent, vous avez affaire le plus souvent à un marécage alcalin ;

« 2° Ou bien si vous rencontrez des flaques peu profondes, remplies d'une espèce de bouillie limoneuse au lieu d'eau (il suffit que des oiseaux aquatiques aient une fois, en barbotant dans la flaque, mis en suspension le limon, pour que, dans une eau contenant du carbonate de soude, il ne se dépose plus) ;

« 3° Si dans une eau courante, vous constatez la vigoureuse propagation d'une espèce particulière d'algue qui flotte çà et là au gré des vents, puis, par morceaux s'arrache pour aller continuer son développement dans des lacs sans issues qu'elle couvre d'épais tapis ; on dirait de la flanelle (ce phénomène attire généralement la curiosité des habitants et des voyageurs), vous pouvez encore vous attendre à trouver du carbonate de soude dans l'eau. »

Pour compléter ce qui a trait à la formation des carbonates alcalins dans les terres, nous devons mentionner un important mémoire de M. P. de Mondésir, publié en février 1888, dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*[2]. L'auteur rappelle que la réac-

---

1. Quelques-unes des citations de M. E.-W. Hilgard sont empruntées au mémoire qu'il a publié sous le titre suivant : *Alkali Lands, irrigation and drainage in their mutual relations*, 1892.

2. Mémoire sur le rôle absorbant des terres dans la formation des carbonates de soude naturels. Ce mémoire a été reproduit dans les *Annales de la science agronomique*, 1891, t. II, p. 386.

tion de Berthollet pour expliquer la formation du *natron* n'a jamais reçu de confirmation expérimentale et qu'elle a même donné lieu à des essais infructueux. Les conditions que l'auteur fait connaître lui ont permis, au contraire, d'obtenir la double décomposition entre le chlorure de sodium et le carbonate de chaux dans une terre riche en humus et très calcaire qui n'avait jamais été cultivée.

« Un kilogramme de cette terre, délayé dans 4 litres d'une solution à 1 p. 100 de sel marin, a transformé en chlorure de calcium environ 15 p. 100 de ce chlorure de sodium. Après des lavages qui ont enlevé la presque totalité des sels, la terre remise dans de l'eau pure a été traitée par l'acide carbonique, et ce traitement par l'eau et l'acide a été répété quatre fois. Les dissolutions ont donné par évaportion, après dépôt de carbonate de chaux, une quantité de carbonate de soude correspondant à la transformation du chlorure de sodium.

« En répétant ces traitements successifs une vingtaine de fois, j'ai obtenu, avec le même kilogramme de terre, plus de 100 grammes de carbonate de soude, que je présente à l'Académie, sous forme de trona (carbonate 4/3). »

M. de Mondésir attribue au pouvoir absorbant de la terre, et en particulier à l'humus qu'elle renfermait en abondance, ces fixations successives de la soude empruntée au sel marin, plus tard restituée dans la solution carbonique : « Ces traitements ne sont point, dit-il, de simples lavages, car en décantant, la première fois, les deux tiers ou les trois quarts du liquide total, on n'en retire même pas la moitié de la soude absorbée par la terre, et il en est de même dans les lavages ultérieurs ; les quantités de soude enlevées, au lieu de décroître selon la raison 1/3 ou 1/4, suivant une raison comprise entre 1/2 et 3/5. Ce résultat est d'ailleurs conforme à ce que l'on sait des équilibres qui s'établissent sous l'influence du pouvoir absorbant de la terre. De même si, au lieu de traiter la terre une seule fois par la dissolution de chlorure de sodium, on renouvelle cette dissolution deux ou trois fois, le chlorure de calcium étant ainsi enlevé, la terre absorbe notablement plus de soude. »

L'expérience de M. de Mondésir diffère de celle de M. Hilgard, mais les *réactions* invoquées de part et d'autre par ces auteurs n'ont

rien de contradictoire et on doit penser que, dans la nature, elles sont simultanées. En citant la communication de M. de Mondésir, M. Hilgard fait remarquer dans son mémoire[1] que l'intervention de la terre n'est pas indispensable pour obtenir la réaction entre le sel marin et le carbonate de chaux : « La réaction s'accomplit promptement, dit-il, dans une simple dissolution aqueuse et par l'évaporation spontanée, on obtient du surcarbonate de soude cristallisé aussi bien dans le cas d'une solution chlorurée que dans celui d'une solution sulfatée. »

Le salant alcalin n'apparaît, toutefois, comme le montrent les citations mêmes empruntées plus haut à M. Hilgard, que dans des terres humifères, qui constituent un milieu abondamment saturé d'acide carbonique. L'expérience de M. de Mondésir montre que ce sont ces terres, abondamment pourvues en matières organiques, qui offrent aussi pour la soude le plus grand pouvoir absorbant. Pratiquement, l'existence des matières organiques dans la terre semble donc très nécessaire pour ces deux réactions, qui apparemment se superposent.

La réaction se produit toutefois dans de simples dissolutions aqueuses, dès que l'acide carbonique existe en excès, pour former des bicarbonates. Le fait a été nettement établi par une longue série d'essais de laboratoire réalisés par M. E.-W. Hilgard, avec ses collaborateurs assistants de l'Université de Californie, MM. Weber et Jaffa[2]. « On opérait toujours sur un litre de dissolution de sulfate de potasse ou de sulfate de soude, dans lequel du carbonate calcaire précipité était continuellement tenu en suspension, tandis qu'un courant de gaz carbonique traversait durant quarante minutes la liqueur à la température de 18 degrés centigrades. Le premier effet était toujours un léger rougissement du tournesol, dû à l'acide carbonique ; mais cette réaction se changeait en une réaction alcaline pendant les premières dix minutes de l'essai, réaction devenant en-

1. *Annales de la science agronomique*, mémoire cité.

2. *On the mutual reactions of carbonates, sulphates and chlorides, of the alkaline earths and alkalies*, E.-W. Hilgard and A.-H. Weber, August 1888. — *Farther experiments on the reactions between alkali sulphates, calcic carbonate, and free carbonic acid*, by M. E. Jaffa, 19 août 1890.

suite plus forte avec le temps. Les essais montraient toutefois que le maximum était atteint dans les quarante minutes et qu'il était inutile de prolonger au delà l'opération.

Dans chaque expérience, 100 centilitres étaient versés immédiatement après la clarification du magma, par filtration, et titré pour *alcalinité totale,* comprenant le carbonate calcaire en dissolution carbonique. Quand un sulfate alcalin était employé, le carbonate calcaire non dissous était éprouvé pour y rechercher l'acide sulfurique que l'on y a toujours reconnu présent.

Une autre partie de la solution, versée et clarifiée, était évaporée à sec; le résidu, pesé après dessiccation à 100 degrés centigrades, était lessivé, filtré et l'alcalinité déterminée dans la partie soluble.

Une autre partie était mélangé avec assez d'alcool pour porter le pourcentage à environ 60 p. 100. Cette addition donnait naissance à un précipité gélatineux, qui, après douze heures, se condensait en cristaux de gypse et de carbonate calcaire facilement reconnaissables. La matière filtrée de ce dépôt était également titrée pour son alcalinité.

Ainsi que le montrent les tableaux qui suivent, résumant les expériences faites par M. Jaffa avec du carbonate de chaux précipité *à froid* par le carbonate d'ammoniaque au lieu du carbonate plus cristallin et plus grossier, expérimenté précédemment par M. Weber, et qui avait été précipité à chaud, la réaction d'échange a été complète pour les liqueurs ne renfermant pas beaucoup au delà de 1 gramme par litre pour le sulfate de potasse et $0^{gr},80$ pour le sulfate de soude. Dans ces conditions, le montant de bicarbonate de potasse formé par litre a été de $1^{gr},173$, celui du bicarbonate de soude $0^{gr},89$, c'est-à-dire égal à toute la proportion possible. En évaporant à 100 degrés et titrant l'alcalinité dans le résidu sec lessivé, les quantités d'alcali trouvées sont naturellement beaucoup plus faibles que celles observées à la température ordinaire. Elles représentent environ 1/7 de ces dernières. M. Weber, qui desséchait à 110 degrés centigrades, avait trouvé 1/12. La rétroaction est donc fortement influencée par la température ; mais on peut comprendre que l'évaporation aux températures ordinaires, qui généralement s'offrent dans la nature, s'approchera beaucoup des résultats indiqués par les filtrations. Dans

les solutions plus riches en sulfates, la réaction est seulement partielle, par rapport à sa limite théorique possible, mais, jusqu'aux environs de 4 grammes par litre, il se forme des quantités croissantes d'alcali. Au delà de cette teneur, les quantités formées ne sont guère accrues et ce taux paraît être, sous les conditions ordinaires de température et de pression, le chiffre pratique de la limite d'action.

Les renseignements qui précèdent sont empruntés, ainsi que les deux tableaux qui suivent, aux brochures en langue anglaise qui ont été obligeamment adressées par M. Hilgard.

Expériences avec le sulfate de potasse (MM. Hilgard et Jaffa).

DÉSIGNATION.	GRAMMES DE SULFATE DE POTASSE PAR LITRE.										
	0.25	0 50	0.75	1.00	1.10	1.25	1.50	1.75	2.00	4.00	8.00
Alcalinité totale de la liqueur filtrée en centimètres cubes de liqueur normale H^2SO^4	17.76	19.00	19.50	20.10	20.30	20.80	21.20	21.60	22.10	23.70	25.70
Alcalinité résiduaire après précipitation par l'alcool, exprimée de même que ci-dessus	2.875	5.75	8.63	11.50	11.80	»	15.00	17.40	17.80	23.20	24.70
Carbonate $HKCO^3$ formé en proportion du total possible.	100.00	100.00	100.00	100.00	93.28	91.12	85.96	86.43	77.39	50.43	26.85
Proportion de $HKCO^3$ formé par litre	0.293	0.587	0.881	1.173	1.204	1.337	1.531	1.764	1.816	2.367	2.520
Alcalinité correspondant à $CaCO^3$ en centimètres cubes de liqueur normale H^2SO^4.	14.88	13.25	10.87	8.60	8.50	7.70	6.20	4.20	4.30	1.50	1.00
Poids du résidu desséché à 100 degrés par litre .	1.177	1.450	1.750	2.026	2.128	2.300	2.600	2.774	3.090	5.170	9.308
Alcalinité résiduaire dans le même en grammes $HKCO^3$ par litre. . . .	0.060	0.100	0 120	0.140	0.160	0.190	0.200	0.210	0.239	0.250	0.260

Expériences avec le sulfate de soude (MM. Hilgard et Jaffa).

DÉSIGNATION.	GRAMMES DE SULFATE DE SOUDE PAR LITRE.										
	0.25	0.50	0.75	0.80	1 00	1.25	1.50	1.75	2.00	4.00	8.00
Alcalinité totale de la liqueur filtrée en centimètres cubes de liqueur normale H^2SO^4	19.10	19.50	20.58	20.65	20.82	20.95	21.30	22.30	22.95	25.00	26.20
Alcalinité résiduaire après précipitation par l'alcool, exprimée comme ci-dessus	3.521	7.05	10.57	10.60	12.58	15.60	18.04	18.60	19.30	24.10	25.20
$HNaCO^3$ formé en proportion centésimale du total possible	100.00	100.00	100.00	99.53	89.22	88.44	85.29	75.32	68.43	42.73	22.36
Proportion de $HNaCO^3$ formé par litre	0.296	0.592	0.889	0.89	1.057	1.290	1.515	1.562	1.621	2.024	2.117
Alcalinité correspondant à $CaCO^3$ en centimètres cubes de liqueur normale H^2SO^4.	15.58	12.45	10.01	10.05	8.24	5.35	3.26	3.70	3.65	0.40	1.00
Poids du résidu desséché à 100 degrés par litre .	0.924	1.190	1.785	1.840	2.052	2.307	2.571	2.880	3.140	5.276	9.332
Alcalinité résiduaire dans le même en grammes $HNaCO^3$ par litre . . .	0.035	0.054	0.084	0.108	0.113	0.134	0.168	0.183	0.223	0.252	0.259

« La production d'une réaction alcaline par l'addition d'un acide est assez singulière, écrivent MM. Hilgard et Weber, au point de vue de notre conception des propriétés chimiques. Elle devient encore plus frappante quand, au lieu de dégager l'acide carbonique en dehors de la solution, on produit ce dégagement par addition graduelle et mesurée d'acide chlorhydrique agissant sur le carbonate calcaire même du mélange en expérience, en prenant soin de laisser un excédent suffisant de ce sel non dissous. Là encore, nous obtenons une forte réaction alcaline comme résultat de l'addition d'un de nos acides les plus énergiques à un mélange neutre. Et, ajoutent les mêmes auteurs du travail précité, le rôle de cette expérience *comme spécimen d'un tour de main chimique* ne constitue qu'une mince partie de son intérêt expérimental. Ce qu'il faut considérer, c'est que ces deux sels de sodium, le chlorure et le sulfate, sont les corps les plus abondants qui résultent du lessivage des roches et des terres sous l'action des processus météorologiques, tandis que les carbonates calcaires et magnésiens avec l'acide carbonique libre sont pour

ainsi dire universellement répandus dans la nature. On est ainsi amené à apprécier forcément l'importance des réactions entre ces mélanges sous les différentes conditions de température, pressions, dilution et proportions relatives. Il est singulier que parmi le grand nombre de personnes qui ont recherché des sujets de géologie chimique, eaux minérales, formation des gîtes métallifères, chimie des terres, cette réaction remarquable semble être passée inaperçue.

« Une longue perspective de cas dans lesquels cette réaction prend évidemment une part active s'ouvre devant nous, et la recherche de ses limites par des conditions physiques implique la possibilité d'assez de permutations et d'assez de combinaisons pour constituer l'œuvre de plusieurs termes de vies humaines[1]. »

Cette réaction n'avait pas échappé tout à fait cependant à divers observateurs antérieurement aux recherches que nous venons de citer. En 1876, M. P. Pichard avait signalé dans plusieurs eaux de la province d'Oran la présence de carbonates de soude accompagnés de sulfates de soude et de chaux, de chlorures, notamment ceux de calcium et de magnésium, quelquefois de petites proportions de nitrates alcalins, et plus rarement de traces de sels ammoniacaux. Ces eaux, offrant la réaction alcaline, répondaient à une teneur de 0gr,2 à 20 grammes de carbonate sodique par litre, et la présence presque constante de ce sel était due, d'après l'auteur, à la réaction du chlorure de sodium sur les carbonates de chaux et de magnésie *en présence des matières organiques*. A l'appui de cette manière de voir, c'est-à-dire pour démontrer la nécessité des matières organiques, l'auteur citait plusieurs expériences effectuées en mettant en présence de dissolutions de sel des débris de feuilles et un excès de carbonate de chaux. Le rôle de l'acide carbonique libre n'est point mentionné[2].

En 1878, G. Cloez avait signalé l'obtention artificielle du natron par l'action du carbonate de magnésie et de l'acide carbonique sur le sel marin. En évaporant à l'air libre ou dans le vide les solutions opérées en présence de ce gaz et des sels désignés, il avait obtenu

1. Traduction libre du mémoire déjà cité de MM. E.-W. Hilgard et Weber.
2. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1876, 2e semestre, p. 1104.

un résidu alcalin renfermant du bicarbonate et du sesquicarbonate de soude, ainsi que du chlorure de magnésium. Le bicarbonate et même le sesquicarbonate ne réagissaient point sur la solution de chlorure de magnésium. Le même auteur considère comme douteuse, dans son mémoire, la réaction de Berthollet (action du carbonate de chaux et de l'acide carbonique sur le sel marin), les bicarbonates ou sesquicarbonates de soude étant, dit-il, décomposés par le chlorure de calcium[1].

Ce sont toutefois les travaux de M. E.-W. Hilgard qui ont réussi à attirer sur cette réaction l'attention des agronomes; la recherche des manifestations alcalines dans les terres ou dans les eaux ne s'est imposée qu'à la suite des remarquables publications dans lesquelles cet auteur a montré le rôle si nocif des alcalis sur la végétation, et dans lesquels il a signalé, par de nombreux exemples, les désastres que causait leur présence dans nombre de régions à climat aride.

J'ai parcouru maintes fois, et en diverses saisons, le territoire de Camargue, afin d'y observer le salant et d'y rechercher en particulier les manifestations alcalines auxquelles il pouvait donner lieu. Mes recherches à l'égard de ce dernier point sont restées longtemps infructueuses; ni les terres, ni les efflorescences recueillies à leur surface dans des conditions variées ne m'avaient offert une réaction alcaline. Cependant, les manifestations de cette espèce ne font pas défaut en Camargue, et j'ai résussi, l'année dernière et cette année, à en observer de très caractérisées, mais n'ayant, pour la plupart, qu'une durée temporaire (1894-1895). C'est le caractère souvent très fugitif de ces manifestations qui en rend la recherche incertaine et la constatation souvent difficile.

La Camargue n'est pas, d'ailleurs, un milieu favorale pour la production du salant alcalin. Les terres sont trop chargées de sel, et cette réaction d'échange ne s'effectue bien que dans des solutions étendues. Les terres sont pauvres en matières organiques et la présence du sel y ralentit beaucoup les oxydations, de sorte que l'acide carbonique nécessaire à cette réaction n'est pas en proportion abon-

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1878, 1er semestre, p. 1446.

dante pour la déterminer. Enfin, il est une circonstance, très importante à nos yeux, qui constitue un obstacle sérieux au développement du salant alcalin, c'est la planitude des terres qui réduit les phénomènes de délavage à de faibles proportions. Il en résulte que les produits de la réaction d'échange restent en présence et n'ont guère de possibilité pour être séparés et pour conduire, sur certains points, au salant alcalin persistant. Cette dernière circonstance est générale pour les régions maritimes et c'est pour ce motif sans doute que les manifestations alcalines n'y ont pas été observées jusqu'ici. Il est à remarquer que le salant alcalin décrit par M. Hilgard, en Californie et pour d'autres régions arides, y est représenté comme une conséquence de phénomènes de délavage.

Telles sont les causes qui agissent en Camargue pour contrarier la formation du carbonate de soude aux dépens du sel marin ou pour neutraliser cette réaction lorsqu'elle se produit. La réaction alcaline apparaît nettement, mais temporairement, lorsque l'une ou l'autre des causes plus haut citées comme un obstacle à sa formation vient à disparaître. Ainsi, dans les étangs très peu salés, à la suite des pluies d'hiver et de printemps surtout, dans les baisses ou lagunes servant à l'écoulage des terres, dans les fossés, j'ai pu à l'apparition des chaleurs constater fréquemment une réaction alcaline influençant rapidement le papier rouge de tournesol. C'est au voisinage des bords, là où les eaux peu profondes s'échauffent au soleil, que cette réaction est le plus manifeste. Les débris organiques en décomposition, les plantes salées abondantes favorisent cette alcalisation. Mais l'alcali mis ainsi en liberté n'existe qu'en faible proportion, au point que ces eaux transportées au laboratoire et examinées peu d'heures après leur recueillement ne manifestent le plus souvent qu'une réaction neutre. On remarque alors un léger dépôt calcaire formé sur les parois du verre, près de la tranche supérieure du liquide, dépôt qui accuse la rétroaction et explique le retour à la neutralité. Par contre, en faisant passer dans ces eaux un courant prolongé d'acide carbonique et en les chauffant en même temps vers 20 à 25 degrés centigrades, on dissout le dépôt calcaire et la réaction alcaline reparaît.

On voit donc que la formation du carbonate de soude se produit en Camargue et dans les circonstances mêmes signalées par M. Hilgard, c'est-à-dire lorsqu'il existe un dégagement de gaz carbonique, une salure pas trop élevée et une température ambiante suffisante pour favoriser la réaction d'échange. Cette formation a lieu dans les baisses, mais il est bien probable aussi qu'elle se manifeste sur les terres et que les eaux pluviales, en lavant les efflorescences salines, apportent dans les points bas où se réunissent les eaux les produits de cette réaction, et particulièrement le carbonate de soude.

A la suite des pluies abondantes et tardives de la fin du printemps de cette année (1895), j'ai constaté dans la Petite Camargue, au voisinage immédiat des montilles de Sylveréal, du Clamadou, de Bransinvert, l'existence très généralisée du salant alcalin. En deux des journées du commencement de mai, la quantité d'eau tombée à Aigues-Mortes avait atteint 140 millimètres. Sous l'influence de cette pluie diluvienne, les *launes* ou vallons séparant les montilles étaient, au moment de ma visite, 16 mai, converties en marécages *alcalins* impressionnant fortement le papier rouge de tournesol.

Une végétation abondante et vigoureuse de plantes salées (*Salicornia sarmentosa* et *fructicosa* dominantes) couvrait ces marécages, très peu profonds, dont les eaux étaient colorées comme une infusion faible de thé. Pris au dépourvu par cette découverte inattendue, je n'avais préparé aucun vase pour le recueillement d'échantillons d'eau, et la région déserte ne permettait pas d'en rechercher.

A peu de distance de la pinède, et à quelques mètres seulement d'un canal de navigation du Rhône, qui borne à l'ouest les bois du Clamadou, les efflorescences salines étaient assez abondantes ; elles s'étendaient longitudinalement sur une étroite lisière, parallèle au canal et à la pinède. Ces efflorescences offraient des aspects variés. Auprès des parties grises et blanches, cristallines, comme celles qui abondent en Camargue, on remarquait des taches humides de couleur presque noire, à contours très irréguliers et de faibles dimensions; ces taches marquaient au tournesol une intense réaction alcaline. Les efflorescences grises limitrophes étaient alcalines aussi, mais à un degré bien moindre. On verra plus loin que ces taches noires, par la présence du carbonate de soude, fort abondant dans

la partie soluble, par celles des sulfates et des chlorures alcalins, offrent une analogie complète de composition avec le salant alcalin noir des régions arides. Les espaces imprégnés d'alcali étaient toujours très réduits et pouvaient facilement passer inaperçus, quoique offrant tous les caractères décrits pour ce genre de salant.

On remarquera que dans cette partie du territoire de la Camargue les dénivellations fort accusées des montilles conduisent à des phénomènes de délavage, que les pluies abondantes des jours précédents, accompagnées d'une température élevée, avaient exagéré. Dans les montilles, au bord des launes, j'ai cherché sans succès la présence d'efflorences analogues aux précédentes. Le délavage avait accumulé l'alcali dans les points très circonscrits signalés précédemment, et là sa persistance était durable, les efflorescence ne renfermant pas de chlorure terreux, ni de sulfate calcique. En juillet et en août suivants, j'ai pu recueillir en effet les mêmes échantillons alcalins sur cette lisière de la pinède, alors que toute trace de marécages avait disparu dans les launes qui ne renfermaient plus que quelques baisses peu étendues, encore garnies d'eau, mais à réaction neutre. Ces marécages alcalins étaient donc en tout comparables aux eaux de quelques baisses temporairement alcalines dont on trouvera plus loin les analyses.

La richesse de ces efflorescences en sulfates alcalins est remarquable, et c'est une condition ordinaire pour les taches d'alcali noir. Cette concentration des sulfates est le résultat sans aucun doute des conditions du délavage et elle contribue principalement à la formation de l'alcali. La réaction d'échange entre le bicarbonate de chaux et le chlorure de sodium est, en effet, sinon plus difficile, du moins bien plus sujette à rétroaction qu'entre le sulfate de soude.

Avant de reproduire les analyses relatives à ces efflorescences, je dois relater, d'une manière plus détaillée, les manifestations passagères du salant alcalin que j'ai observées en Camargue et qui y sont infiniment moins rares que les taches alcalines permanentes telles que celles que je viens de décrire.

Je signalerai d'abord l'existence, dans les sols sableux, d'un tuf calcaire qui est loin d'être constant, mais qui n'est pas non plus très exceptionnel, puisque les propriétaires du pays l'ont désigné sous le

nom de *cabraou*, tuf résistant, de quelques centimètres d'épaisseur, qui généralement est accompagné d'une réaction alcaline des eaux du sous-sol. Avec M. Louis Gros, propriétaire à Aigues-Mortes, qui souvent a bien voulu me servir de guide dans cette région de la Basse-Camargue qu'il connaît à merveille, j'avais remarqué près d'Aigues-Mortes, et bordant la route, une vigne fortement déprimée à la sécheresse de 1894. Sur ma demande, M. Louis Gros a bien voulu revenir sur ce point et y faire des constatations pour rechercher la présence du tuf que j'avais soupçonné. La vigne affaiblie, et en certains points mourante (elle a continué depuis lors à dépérir et vient d'être arrachée), a été fouillée jusqu'à 1 mètre de profondeur, niveau auquel l'eau du sous-sol a été rencontrée. A cette même profondeur, la fouille mit à découvert la couche sableuse, fortement agrégée, que les propriétaires du pays désignent sous le nom de *cabraou*, couche qu'il fallut briser à coups de pelle pour s'en procurer des échantillons : au-dessus et au-dessous d'elle, on rencontrait le sable mobile des dunes. L'eau baignant cette couche était légèrement alcaline et par places le tuf était coloré en jaune par l'humus dissous.

D'après le propriétaire de la vigne, M. Marchand-Boulanger, des enganes existaient autrefois à cette place et, pour écarter le salant, il avait à diverses époques apporté du sable sur ce point, de manière à relever le terrain d'environ $0^m,50$. Aux alentours, aucune des eaux de mares, baisses ou fossés, n'avait marqué la réaction alcaline.

Le *cabraou* existait par suite à un niveau de $0^m,50$ environ au-dessous du sol primitif. Les propriétaires qui connaissent les propriétés de ce sous-sol, imperméable et malfaisant, l'accusent de détruire les racines de plantes qui arrivent à son contact. Ramené à l'air, le *cabraou* se délite assez rapidement.

Je reproduis ci-dessous l'analyse de l'échantillon du tuf ainsi recueilli, ainsi que celle du sable mobile sur lequel il repose :

	SABLE.	TUF.
Insoluble siliceux	73,20	56,00
Carbonate de chaux	22,01	36,46
Sulfate de chaux	0,03	0,17
Magnésie	0,677	1,357
Oxyde de fer et alumine	2,200	2,650
	98,117	96,637

La consolidation du sable est due, comme le montre cette analyse, à un dépôt de carbonate ce chaux. Quant à l'eau recueillie au contact du tuf, elle a laissé par litre un résidu de $11^{gr},70$. Sa réaction alcaline, quoique diminuée par une rétroaction manifeste, fut trouvée correspondante pour l'alcalinité totale (comprenant les bicarbonates de chaux et magnésie en solution) à $0^{gr},304$ d'acide sulfurique (SO^3) par litre. Le résidu séché de l'eau n'était pas alcalin, et le même résidu calciné ne l'était pas davantage.

L'eau renfermait par litre :

Chlore.	4,82
Acide sulfurique.	1,51
Magnésie.	1,30

La soude, la potasse et la chaux n'ont pas été dosées.

Cette eau du sous-sol est relativement riche en sulfates et en sels magnésiens. Elle justifie par sa composition la qualification d'*eaux amères* par laquelle les propriétaires d'Aigues-Mortes désignent les eaux salées du sous-sol, lorsqu'elles viennent, par leur pénétration, nuire aux cultures.

La présence d'un tuf calcaire à faible distance de la couche supérieure du sol est une preuve de l'aridité du pays. Dans un mémoire précédent, nous avons signalé le mode de formation de la couche calcaire qui, en empâtant les cailloux de Crau, y a constitué un sous-sol formé d'un poudingue imperméable. La Crau, si voisine de la Camargue, participe au climat aride de cette plaine. Le poudingue calcaire y est à peu près continu, et varie seulement un peu comme épaisseur et profondeur. Dans les sables, milieu beaucoup plus perméable aux eaux que le sol argileux de la Crau, ce tuf calcaire est moins répandu et fort heureusement n'occupe que des espaces restreints. On voit que sa nocuité pour les cultures est extrêmement marquée, augmentée d'ailleurs par les influences de salant que cette couche imperméable retient. D'une manière générale, les sables s'enrichissent en calcaire au-dessous du sol arable, vers $0^m,50$ à $0^m,60$ de profondeur, et nous avons eu l'occasion de citer quelques exemples remarquables de cet entraînement du carbonate de chaux (échantillons 13 et 14).

M. Hilgard signale dans son mémoire la généralité de ce sous-sol calcaire et agrégé dans les régions arides[1] : « Les cultivateurs de la zone aride des États-Unis, à partir des montagnes Rocheuses jusqu'au bord du Pacifique, connaissent bien, dit-il, ce sous-sol, durci par places, qu'ils appellent *hardpan*. Dans tout le nord-ouest de l'Inde, du Gange à l'Indus, les populations le connaissent aussi, à leur grand malheur, car souvent elles rencontrent de ce fait de graves difficultés dans la mise en valeur de territoires par eux-mêmes excessivement fertiles. Les cultivateurs de l'Inde désignent le tuf par le mot *kankar*. Le *kankar* de l'Inde est encore plus nuisible à l'agriculture que ne l'est le *hardpan* de l'Ouest américain, par cette raison qu'il se présente, plus souvent que cela n'a lieu en Amérique, sous l'aspect d'un vrai calcaire, quoique très impur, mais cristallisé et assez dur pour ne céder qu'au pic.

Le poudingue de la Crau, dont le mode de formation est identique, est très analogue au *kankar;* il ne peut être rompu qu'à la mine.

J'ai rencontré le même tuf calcaire assez friable, comme celui des sables d'Aigues-Mortes, dans les terrains de dunes de l'isthme du Cap-Bon, en Tunisie. Il paraît là plus étendu et plus fréquent que dans les sables de la Camargue, ce qui concorde avec une aridité plus marquée du climat.

La présence de cette couche durcie et imperméable exagère les effets du salant, quelle que soit sa nature. « La formation du tuf calcaire, dit M. Hilgard, a généralement lieu dans le sous-sol, par petites places, et la couche cimentée est d'ordinaire un peu déprimée vers le centre, de sorte qu'elle fait cuvette. Lorsqu'au printemps, après les pluies, ou bien en une saison quelconque par le fait d'irrigations, il se produit un exhaussement de la nappe souterraine, l'eau du sous-sol atteint facilement jusqu'au niveau du tuf; le tuf étant imperméable, l'eau le contourne par en dessous et se déverse pardessus les bords dans la dépression du centre, qui devient ainsi le repaire de tout ce que cette eau montante a dissous de sels sur son chemin. Lorsque, la cause première n'agissant plus, le niveau des

1. *Annales de la science agronomique,* 1892, t. II, p. 187 et 450.

eaux s'abaisse, la solution, amassée dans la cuvette de la planche du tuf, ne suit point le mouvement; elle reste au contraire, alimente l'évaporation de la surface et donne bientôt lieu à la production d'une tache d'efflorescence[1]. »

Le remède, ajoute M. Hilgard, est dans la rupture du tuf, soit au pic, soit à la dynamite, qui donne des résultats plus complets et plus économiques. Cette destruction du tuf est indispensable pour l'établissement de cultures arbustives. En graduant, par des essais préalables, les charges de dynamite, on peut même arriver à ébranler et à fissurer le tuf, sans trop déchirer les racines des arbres occupant déjà le terrain et dont le développement se trouve arrêté par cet obstacle. On emploie à cet effet de petites cartouches disposées au nombre de deux ou trois au pied des arbres. Le tuf partiellement rompu achève peu à peu de se détruire sous la seule influence du drainage naturel rétabli.

La formation du tuf est peu importante dans les sables de la Camargue. Elle est plus fréquente dans les sols argilo-sableux qui avoisinent les dunes, et là le tuf se montre quelquefois presque à la surface du sol. Sa présence est marquée par des flaques salées qui apparaissent à la suite de pluies abondantes. Le long de la route d'Aigues-Mortes à Sylveréal, on traverse une région inculte, à sous-sol imperméable, qui après les pluies est marécageuse. A la suite des pluies tardives et très abondantes survenues en mai 1895, la plupart de ces marécages, faiblement salés et couverts d'une abondante végétation de salsolacées, offraient une réaction alcaline marquée. Je n'ai pu toutefois rencontrer là des efflorescences alcalines, ni à cette époque, ni plus tard, lorsque ces marais temporaires avaient en grande partie disparu.

En 1894, pendant la période des sécheresses prolongées de l'été, des accidents subits et graves éclatèrent dans les vignobles de sable. Des vignes se desséchèrent en quelques jours, dans le courant de juillet, après une végétation magnifique et les promesses d'une abondante récolte pendante. Les sables où éclataient ces accidents étaient secs à une grande profondeur, tandis que normalement cette

1. *Annales de la science agronomique*, mémoire cité, 1892, t. II, p. 451.

nature de terrain conserve une fraîcheur remarquable à quelques décimètres de la surface. Les eaux du sous-sol étaient imprégnées de sel, alors que d'habitude on y rencontre une nappe d'eau douce pendant toute l'année. Les baisses au voisinage de ces vignes offraient, lorsqu'elles n'étaient point trop chargées en sel, des eaux à réaction alcaline et plus ou moins teintées en jaune. Toutefois, cette réaction ne persistait pas longtemps, car les bouteilles remplies sur place et hermétiquement closes, rapportées au laboratoire, ne donnaient généralement plus lieu à ladite réaction au bout de un ou deux jours. Ainsi que je l'ai déjà mentionné, la rétroaction était signalée par un léger dépôt cristallin de carbonate de chaux très sensible sur la paroi des bouteilles vers le niveau supérieur du liquide. Les baisses peu salées et pourvues d'une abondante végétation d'algues et de salsolacées se montraient les plus alcalines.

Ces phénomènes de remontée du salant ont été fortement accusés dans la Basse-Camargue durant l'été extrêmement chaud et sec de 1894, qui avait été précédé d'une année elle-même caractérisée par l'insuffisance des pluies. Les réserves d'eau douce des sols sableux étaient épuisées et dans beaucoup de points les eaux des baisses et des étangs salés s'y étaient répandues. Les tableaux que l'on trouvera reproduits à la fin de ce mémoire et qui donnent, pour une période prolongée, le résumé mensuel des observations udométriques dans plusieurs stations de la Camargue, permettent de voir que la tombée d'eau est restée, durant ces deux années, beaucoup en dessous de la moyenne, et cela particulièrement dans la Basse-Camargue[1]. Sous l'influence de la montée du sel produite par une évaporation intense, les cultures ont été détruites ou réduites dans des proportions considérables. Les céréales, les luzernes non arrosées n'ont fourni que des récoltes presque nulles.

Mais nous devons insister avec plus de détail sur ces accidents causés par le sel. Au mas d'Icard, la vigne dite *Maurin*, d'une superficie de plus de 1 hectare, se dessécha en quelques jours, dans le courant de juillet, avec la récolte fort belle qu'elle portait. Au moment de notre visite, le 27 juillet 1894, elle présentait l'aspect le

1. A Aigues-Mortes, 318 millimètres en 1893, 362 en 1894.

plus lamentable. Seuls quelques ceps épars de carignan montraient des pampres encore verts ; tout le reste de la vigne était desséché comme si le feu y avait passé. Plantée dans les sables de dunes, cette vigne, qui accusait les effets de la sécheresse, avait été quelque temps auparavant irriguée en profondeur par les eaux du Rhône, recueillies comme colature de l'arrosage des prairies. Ces eaux s'étaient sans doute chargées sur leur parcours, en traversant quelques baisses, car le sous-sol des vignes était imprégné d'eaux salées. Un échantillon du sable recueilli à la profondeur de $0^{m},95$ contenait, par kilogramme, $0^{gr},880$ de sel marin, et, au niveau de la nappe d'eau, à $1^{m},25$, $1^{gr},334$ du même sel. Les eaux de colature des prairies, qui avaient été lancées dans les fossés pour irriguer les vignes, ne contenaient, par litre, que $0^{gr},128$ de sel marin ; celles d'une terre plus salée, non utilisées pour cet arrosage, n'en renfermaient elles-mêmes que $0^{gr},309$. L'eau du sous-sol de la vigne contenait, par contre, pour le même volume, 14 gr. de chlorure de sodium. Dans la couche supérieure, le sable n'était que très peu salé ($0^{gr},105$ par kilogramme), mais tout à fait sec. Dans les sables, milieux permables à l'air, l'évaporation se fait dans toute la masse du sol, contrairement à ce qui a lieu pour les sols limoneux, dont la tranche supérieure seule est soumise à l'évaporation de telle manière que les sels d'efflorescence y atteignent une forte concentration.

Une autre pièce de vigne au mas d'Icard, la vigne Farinose, présentait des accidents identiques mais moins généralisés. L'eau prise dans le sous-sol, à une profondeur de $1^{m},30$, non loin d'une baisse renfermant des eaux très salées et à réaction faiblement alcaline, contenait par litre $20^{gr},44$ de sel marin et $0^{gr},480$ d'acide sulfurique. Cette eau était alcaline. L'alcalinité totale mesurée correspondait par litre à $10^{cc},8$ d'acide normal ($SO^{2} = 0,432$). L'eau ainsi titrée au laboratoire avait un pouvoir alcalin moindre qu'au moment de la prise, car elle avait déposé du carbonate de chaux visible sur les parois de la bouteille. En y faisant passer un courant prolongé d'acide carbonique de manière à redissoudre le plus possible de ce dépôt, et titrant à nouveau, on a consommé 18 centimètres cubes d'acide normal (SO^{3} valeur 0,720 par litre).

La baisse Farinose, voisine de cette vigne, n'offrait qu'une réaction alcaline faible, mais une forte concentration saline. Sa densité était de 1 086. Les algues flottant dans l'eau étaient décolorées. L'analyse a donné :

Sel marin, par litre	125,67
Acide sulfurique.	1,646
Magnésie	3,720

Alcalinité totale au laboratoire, après dépôt manifeste d'un peu de carbonate de chaux, 6 centimètres cubes d'acide normal par litre.

Le cas de la vigne Maurin est un peu particulier, parce que l'action du salant marin, mêlé d'un peu de salant alcalin, s'est trouvée exagérée par une irrigation intempestive. Mais les mêmes accidents, moins étendus seulement, se sont présentés dans tout le vignoble des Saintes-Maries et d'Aigues-Mortes à la même époque. Leur cause est évidemment la pénétration des eaux salées des baisses et surtout des étangs dans le sous-sol des vignes, épuisé de sa provision d'eau pluviale par la prolongation de la période des sécheresses et la chaleur ambiante. L'eau douce du sous-sol empêche cette irruption tant qu'elle est en assez grande abondance pour faire équilibre à la poussée des eaux salées voisines. On s'explique ainsi pourquoi le voisinage de baisses salées, voire même celui de l'eau de mer, lancée dans les fossés avoisinant les vignes, est le plus souvent sans inconvénient. Les propriétaires d'Aigues-Mortes pensent même qu'il est dangereux de laisser les fossés se vider, et lorsque le niveau s'abaisse trop, ils laissent pénétrer les eaux salées du canal d'Aigues-Mortes, persuadés que dans ces conditions le sol des vignes conserve mieux sa fraîcheur. L'innocuité des eaux salées lancées dans les fossés voisins des vignes se conçoit fort bien tant que la réserve d'eau douce accumulée dans les sols sableux par les pluies est suffisante pour alimenter leur sous-sol. Dans ce cas, l'eau salée reste confinée dans les fossés et ne peut pénétrer dans le sous-sol. Le courant de diffusion est établi dans un sens contraire à cette pénétration ; c'est l'eau douce qui tend à pénétrer dans les fossés. Mais dans le cas d'insuffi-

sance des eaux pluviales, la situation est toute différente et l'on conçoit les graves dommages qui résultent nécessairement de l'irruption des eaux salées dans un sous-sol habituellement doux, où les plantes ont développé leurs racines.

J'ai indiqué déjà que cette diffusion des eaux salées vers l'eau douce des sous-sols sableux était vraisemblablement empêchée par un obstacle mécanique, c'est-à-dire par la couche argileuse qui tapisse le dessous des sables et le pourtour des îlots sableux. Cette couche, tant qu'elle est en contact avec de l'eau douce, reste à l'état colloïdal, c'est-à-dire imperméable. Au contraire, cette couche protectrice devient perméable si, l'eau douce faisant défaut, les eaux salées tendent à la traverser en coagulant l'argile.

Quoiqu'il soit difficile de fournir une démonstration rigoureuse de cette hypothèse, elle me paraît s'imposer néanmoins à l'esprit d'après ce que nous savons par les beaux travaux de Schlœsing sur les propriétés de l'argile. Elle est d'ailleurs en concordance avec les faits et elle permet d'expliquer cette apparente contradiction de l'action, tantôt inoffensive, tantôt pernicieuse du voisinage des eaux salées. A ce point de vue, la formation du carbonate de soude, qui agit à si faible dose pour empêcher la coagulation de l'argile, joue sans doute, quant à cet isolement des eaux douces et des eaux salées, un rôle utile, pourvu toutefois que la dose d'alcali reste assez minime pour être compatible avec la végétation. C'est, semble-t-il, le cas qui doit souvent se présenter dans les plaines à salant maritime, telles que la Camargue. J'ai été frappé de ce fait, que le seul point où j'ai constaté des manifestations alcalines persistantes, *des efflorescences alcalines,* au voisinage des montilles sableuses de Sylveréal, etc., est une lisière étroite, *bordée par un canal du Rhône*[1]. C'est très près de ce canal que l'alcali existe en abondance sous forme d'efflorescences blanches ou noires, si près même que, sur les bords dudit canal, l'eau douce offrait une réaction nettement alcaline. Le lit du canal était tapissé d'un limon fin et argileux certainement impénétrable aux eaux salines issues de la pinède. C'est cette imperméabilité qui sans doute était la cause de la disposition

1. Canal de navigation servant à l'exploitation des pinèdes.

des efflorescences sur une étroite *zone de suintement* affleurant la surface du terrain.

Dans le domaine d'Icard, d'autres pièces de terre offraient aussi des exemples de remontée du sel. Au clos du Canier, pointe sud, un sol sableux, mais avec dessus mêlé de limon, contenait, dans cette couche supérieure de $0^{m},50$ d'épaisseur, $1^{gr},109$ de sel marin. Là aussi, les vignes (petits-bouschets de 18 ans) se desséchaient avec leur récolte. Dans la terre du Gras, à 10 mètres d'un fossé creusé en 1893, la couche superficielle de sable gras (épaisseur $0^{m},30$) contenait, dans un point où les vignes avaient péri, $0^{gr},908$ de sel marin par kilogramme. J'aurai d'ailleurs à revenir plus loin sur la répartition du salant en profondeur.

A l'ouest de la gare d'Icard, une autre baisse examinée offrait, comme la première, une faible réaction alcaline et une densité élevée : 1 071.

Les dosages ont indiqué par litre :

Chlorure de sodium.	101,03
Acide sulfurique (SO^3).	1,81
Magnésie	2,12

Alcalinité totale pour 1 000 centimètres cubes : 8 centimètres cubes d'acide normal. Un dépôt léger de carbonate de chaux démontrait que l'alcalinité était au moment de la prise plus marquée.

A Maguelonne, plus au sud et près des Saintes-Maries, les mêmes constatations ont été faites, tant sur des baisses plus ou moins alcalines et salées que sur les terres sableuses et argilo-sableuses, placées dans leur voisinage ou dans celui des étangs salés.

Près de la route des Saintes-Maries et au voisinage d'une pièce d'aramon et de jacquez plantés dans des sables un peu gras, vignes ayant souffert de la sécheresse en 1893 et plus encore en 1894, j'ai rencontré une baisse assez fortement alcaline dont les eaux étaient aussi plus colorées que toutes celles que j'ai eu l'occasion de remarquer. Des ceps étaient morts déjà en 1893 et, au moment de ma visite, la destruction de la vigne s'accusait sur une partie de la pièce par la dessiccation des pampres.

L'eau de la baisse analysée a donné les résultats suivants :

Densité : 1012. — Résidu sec par litre = 18,90.

Chlore	10,790	
Acide sulfurique	0,528	
Soude	11,782	Par litre. Alcalinité totale : 28 centimètres cubes d'acide normal.
Potasse	0,503	
Magnésie	0,355	
Chaux	0,576	
Ammoniaque	0,035	
Manquant pour saturer les bases, calculé en acide carbonique	0,618	
Total	25,187	
Oxygène à déduire pour les bases formant des chlorures	6,704	
Total	18,483	

Résultats qui peuvent être interprétés comme suit :

Chlorure de sodium	17,240	20,101
— de magnésium	0,447	
Sultate de potasse	0,930	
— de magnésie	0,150	
Carbonate de magnésie	0,244	
— de chaux	1,029	
— d'ammoniaque	0,081	

Le résidu séché et calciné n'offrait naturellement aucune alcalinité. Dans la partie de la vigne ayant le plus souffert, un échantillon pris sur $0^{m},40$ de hauteur a donné à l'essai $0^{gr},292$ de sel marin par kilogramme, le sol étant très sec. Le terrain n'offrait aucune efflorescence et l'extrait de la terre était neutre.

Près de la gare de Maguelonne, à l'ouest de la voie ferrée, une caisse d'emprunt avait formé une baisse dont l'eau peu colorée manifestait une faible réaction alcaline. L'essai de cette eau a donné :

Densité = 1053.

Sel marin	70,66	Par litre. Alcalinité totale : 6 centimètres cubes d'acide normal.
Acide sulfurique	3,58	
Magnésie	2,64	

La vigne du Pont-Neuf, dans le même domaine de Maguelonne, située près d'un étang salé et composée d'aramons de 10 à 12 ans plantés dans des sables de dunes purs et profonds, a présenté au cours de juillet des accidents en tout semblables à ceux signalés plus haut dans le domaine d'Icard. Les parties atteintes formaient des taches circulaires, embrassant depuis quelques ceps jusqu'à 50 et 60 vignes, dont les rameaux chargés de récolte se desséchaient. Un échantillon du sable pris à $0^{m},25$ de profondeur contenait $0^{gr},363$ de sel marin, le sable étant sec. Un autre échantillon pris à $1^{m},30$ de profondeur dans la même fouille accusait $0^{gr},871$ de sel par kilogramme, le sable étant alors très humide et au voisinage de l'eau du sous-sol, qui a été rencontrée à $1^{m},40$ de profondeur.

Cette eau présentait une réaction alcaline. Sa densité était de 1 008.

L'analyse a donné par litre :

Résidu sec	14,44
Sel marin	11,21
Acide sulfurique	0,891
Magnésie	1,56
Alcalinité totale en centimètres cubes d'acide normal	14

Dans la pièce Caroline, du même domaine, le sable recueilli sur 25 centimètres de profondeur, dans un point où les vignes se desséchaient avec un aspect de cottis, à 20 mètres d'une baisse offrant des eaux salées alcalines, contenait par kilogramme $0^{gr},360$ de sel marin. L'eau du sous-sol de la vigne, rencontrée à $1^{m},50$ de profondeur dans la fouille faite au même endroit, présentait une composition presque identique à celle de la pièce du Pont-Neuf.

Densité = 1008.

Résidu sec, par litre	14,20
Sel marin	10,86
Acide sulfurique	0,912
Magnésie	1,44
Alcalinité totale en centimètres cubes d'acide normal	14

Le tuf calcaire n'a été nulle part rencontré dans les pièces souf-

frant de ces accidents. Il s'agit donc bien seulement de l'action du salant faisant irruption plus ou moins brusque dans le sous-sol des vignes habituellement garni d'eau douce et occupé par leurs racines. Jusqu'à la profondeur de 1^{m},50, j'ai en effet trouvé des racines de vignes. Le sel marin est le principal agent des accidents constatés, quoiqu'il s'y mêle une réaction alcaline notable pour les eaux du sous-sol.

Au cours de ces visites, j'ai rencontré plusieurs baisses salées n'offrant pas la réaction alcaline, mais alors beaucoup plus chargées en sel. Certaines d'entre elles contenaient des dépôts de sel. Autour des baisses et le long de leurs talus, à différents niveaux examinés, les efflorescences salines, quelquefois très abondantes, ne renfermaient pas de carbonate de soude. L'eau seulement et la vase imprégnée d'eau manifestaient une réaction alcaline. Dans les baisses peu salées, les roseaux occupaient circulairement un espace du pourtour de la baisse, et s'arrêtaient brusquement aux approches de la flaque alcaline. Une algue flottante se présentait, verte dans les baisses peu salées, jaune et décolorée là où la densité atteignait 1 053, 1 071, 1 086. La baisse la plus alcaline signalée à Maguelonne (densité 1 012) était la plus colorée, à peu près la teinte d'une infusion légère de thé. La coloration des baisses plus chargées en sel était beaucoup moindre. Cette coloration en jaune n'est point d'ailleurs un criterium de leur alcalinité ; les eaux stagnantes la présentent le plus souvent.

Les mêmes phénomènes d'alcalescence se présentent en Camargue pour les étangs salés dans leurs parties peu profondes, lorsque les eaux s'échauffent sous l'action des rayons solaires et que leur salure est diminuée, auprès des bords, par des infiltrations d'eau douce. C'est ainsi qu'à le pointe N.-O. de l'étang de Consecanière, j'ai observé, en juillet 1894, sur une vaste étendue, tout ce que les baisses salées avaient manifesté en petit. Une portion de cet étang, comme de beaucoup d'autres étangs saumâtres de la Camargue, est occupée par de vastes roselières. Ce sont les bords de l'étang couverts d'eau l'hiver et où les roseaux peuvent végéter à la faveur d'une très faible salure, lorsque les eaux pluviales ont alimenté la dépression à son plein niveau. Aux approches de la vase imprégnée d'eau alcaline et

salée, ces roseaux cessent brusquement et forment ainsi une ligne de démarcation très nette. Seule une algue flottante (oscillariée) persiste dans ce milieu particulier et à mesure que l'étang se dessèche, ses traînées filamenteuses couvrent la vase desséchée de ses débris décolorés. Quant à la vase, elle présente les caractères signalés par M. Hilgard : elle offre à l'œil une apparente solidité, mais sa consistance est pâteuse, et on s'y enlise aisément. Toutefois, le dessous du terrain, chargé en sel, offre de la consistance.

J'ai retrouvé des flaques alcalines jusqu'auprès du cordon littoral, dans les caisses d'emprunt creusées pour l'édification de la digue à la mer, caisses que les pluies tardives de mai avait garnies d'eau.

Ainsi cette production de l'alcali est très générale et au moment convenable on peut l'observer en Camargue sur une foule de points. Mais elle peut aussi passer inaperçue si on la recherche trop tôt, avant la période des chaleurs de l'été, ou trop tard, quand les lagunes saumâtres se sont concentrées.

Dans ces bassins fermés, alimentés par des eaux pluviales et les délavages des terres, baisses, mares, étangs saumâtres, fossés, la formation du carbonate de soude est limitée par les conditions du milieu, concentration saline, chaleur ambiante, produits issus de la réaction, dégagement plus ou moins abondant de l'acide carbonique. Il faut l'intervention des chaleurs de l'été pour que la réaction prenne naissance et en quelques semaines, sous l'influence de la même cause, les eaux arrivent à une concentration saline qui met obstacle à cette réaction. D'ailleurs, l'alcali formé pendant la période chaude du jour tend constamment à disparaître par rétroaction rapide de ces baisses, où il est en présence du chlorure de calcium. Autour des baisses, des efflorescences se forment assez abondantes, mais maintes fois j'ai cherché sans succès et à différents niveaux la réaction alcaline. Deux analyses de ces efflorescences figurent plus loin dans ce travail.

Ces phénomènes d'alcalisation ne paraissent donc pas jouer un rôle très actif. Le salant marin est si prédominant que, dans la plupart des cas observés, il rend compte des dommages causés aux cultures. Cependant, ces manifestations fugitives de l'alcali ne sont pas

sans doute indifférentes. Elles ont une signification qui plus loin, lors de l'examen des taches salées répandues en Camargue, apparaîtra avec une certaine importance. D'ailleurs, le fait qu'il existe des parties du territoire où l'alcali se concentre sous forme de taches persistantes doit mettre en garde contre une conclusion trop négative. Ceci nous ramène à l'examen de ces efflorescences alcalines rencontrées auprès des pinèdes de la Basse-Camargue.

L'échantillon n° 1, dont l'analyse est rapportée ci-après, a été recueilli dans les conditions plus haut citées, ainsi que les n°s 2 et 3, sur la lisière de la pinède du Clamadou. Les efflorescences grises (n° 1) formaient à la surface du terrain des zones étroites et irrégulières, contiguës à des taches brunes très foncées (n°s 2 et 3). Sous la couche superficielle le sol apparaissait plus clair, de nature sablo-argileuse, mais encore alcalin. Le lessivage des échantillons a donné les résultats suivants :

	1.	2.	3.
Humidité	4.38	7.60	8.10
Partie soluble	20.12	4.38	6.15
Insoluble sablo-argileux . . .	75.50	88.02	85.75

Dans 100 parties de l'extrait aqueux desséché à 100° centigrades, les dosages ont accusé (après calcination ménagée) :

	1.	2.	3.
Potasse	0.442	5.590	5.508
Soude.	45.973	31.937	34.093
Acide sulfurique	30.730	18.018	17.357
Acide carbonique	0.456	9.630	12.112
Chlore	24.900	9.240	8.250

La partie soluble ne renfermait que des traces d'acide phosphorique et pas de nitrates. Le n° 1, peu coloré, était presque exempt de matières organiques. Les deux autres donnaient des solutions très foncées et très chargées en substances organiques. En outre de la présence des corps dosés, il existait de minimes proportions de chaux et de magnésie, d'oxyde de fer, d'alumine et de silice.

Les résultats ci-dessus peuvent être représentés par la composition suivante :

	1.	2.	3.
Sulfate de potasse. . . .	0.840	14.295	13.517
Sulfate de soude	55.637	32.533	29.790
Carbonate de soude . . .	1.135	32.110	38.670
Chlorure de sodium . . .	42.388	21.062	18.023
	100.000	100.000	100.000

En juillet 1895, trois autres échantillons ont été recueillis dans des conditions semblables : le n° 4 dans le voisinage de celui où avait été récolté en mai le n° 2 ; le n° 5 à l'extrémité sud de la pinède de Sylveréal. Ces échantillons formaient des taches très foncées d'aspect humide. Le n° 6 a été pris près d'un bâtiment de la ferme de la Compagnie agricole du Midi, entre les pinèdes de Sylveréal et de Brasinvert, beaucoup plus au sud que les précédents, sur des points où le sol était coloré en brun foncé par zones irrégulières.

	4.	5.	6.
Humidité	12.05	10.50	6.80
Partie soluble	6.04	5.60	4.75
Insoluble	81.91	83.90	88.45

L'analyse de la partie soluble a donné pour 100 parties les résultats suivants :

	4.	5.	6.
Potasse	3.767	3.132	4.378
Soude.	44.818	42.118	33.805
Acide sulfurique	9.702	12.104	2.610
Acide carbonique	16.920	15.524	9.503
Chlore	18.112	14.790	21.350

Résultats qui peuvent être interprétés de la manière suivante :

	4.	5.	6.
Sulfate de potasse. . . .	7.455	6.876	8.216
Carbonate de potasse . . .	0.000	0.000	2.774
Sulfate de soude	12.547	19.857	0.000
Carbonate de soude . . .	43.632	44.339	30.968
Chlorure de sodium	36.366	28.928	58.045

De même que pour la première série d'échantillons, la partie soluble ne contenait que des traces d'acide phosphorique et pas d'acide nitrique. On remarquera la proportion élevée des sulfates dans la plupart de ces échantillons et aussi le taux élevé des sels de potasse.

Les proportions considérables de carbonate de soude ou de carbonate de potasse que ces efflorescences renferment les rendent tout à fait comparables aux taches d'alcali noir étudiées par M. Hilgard et par ses collaborateurs en Californie, puis dans les États de Washington, Montana, etc. Les différences sont tout à fait secondaires, c'est surtout l'absence de phosphates et de nitrates alcalins, sels qui ont été signalés dans le salant noir californien et qui font ici défaut. Mais, tandis qu'en Amérique ces efflorescences affectent de notables territoires dans le fond des vallées, causant ainsi aux cultures des dommages considérables, elles n'occupent en Camargue, du moins dans les points où je les ai observées, que des surfaces pour ainsi dire négligeables. Leur présence serait certainement restée pour moi inaperçue si je ne les avais recherchées avec une attention très soutenue. C'est pour ce motif sans doute que, même après la publication en France des travaux de M. Hilgard, aucun observateur ni aucun propriétaire de la Camargue ou d'autres régions salées méridionales n'a signalé jusqu'ici la présence de ces taches alcalines. Maintenant que l'attention des intéressés sera sur ce point et de nouveau appelée par le présent mémoire, on reconnaîtra, je crois, dans quelques autres parties de la Camargue, l'existence de petits foyers alcalins et cela partout où s'exercent surtout des entraînements d'efflorescences par délavages non continus, favorisant la séparation des différents sels efflorescents ; partout aussi, sans doute, où les phénomènes d'oxydation des matières organiques du sol ou des fumures se trouveront beaucoup activés par l'énergie des travaux mécaniques appliqués au sol, défrichements et drainages profonds, suivis de lavages rapides et discontinus.

Un passage caractéristique du mémoire de M. W. Hilgard doit être cité à ce propos : « La pratique paraît avoir démontré que la culture et l'irrigation peuvent, avec le temps, faire apparaître des carbonates alcalins dans des terrains salants primitivement imprégnés exclusivement de sels neutres ; or, nous avons fait voir com-

bien l'intervention des carbonates aggrave la situation. Le fait même peut être admis avec vraisemblance, si on considère que l'irrigation, jointe à la culture, augmente dans le sol, dans des proportions considérables, toutes les oxydations et, partant, le dégagement de l'acide carbonique dont l'abondance favorise la réaction d'échange entre le carbonate de chaux et le sulfate de soude[1]. »

Je n'ai pu toutefois, sur les terres cultivées de la Camargue, reconnaître jusqu'ici d'une manière nette la présence de taches alcalines. Les procédés de défrichement, de dessalage et de culture qui sont presque universellement appliqués, et que la pratique a réglés, ne sont pas favorables à l'éclosion de semblables manifestations. Les défoncements en Camargue sont peu profonds, car on craint de remonter à la surface le sous-sol salé. On lessive méthodiquement, lentement et d'une manière continue, de façon à laver le terrain progressivement de haut en bas, jusqu'au niveau des fossés d'écoulage. Le drainage véritable est peu usité et, quoique plus parfait théoriquement, n'a pas toujours conduit aux résultats attendus. L'irrigation alternante avec de grands volumes d'eau, même combinée avec un bon drainage préalable, a donné de mauvais résultats, sans doute parce qu'elle favorise la séparation des sels différents qui existent dans le salant marin et, partant, conduit à des manifestations dont on ne s'est pas rendu compte. A la vérité, quoique j'aie longtemps cherché à surprendre la trace de ces manifestations alcalines probables, comme conséquence de ces modes particuliers de préparation des terres, je n'en puis fournir aucun exemple démonstratif.

Il me paraît néanmoins que les taches dites réfractaires, qui subsistent dans les sols alluviaux limoneux, malgré des submersions annuelles (depuis 17 ans au mas de Roy), doivent dépendre de phénomènes d'alcalescence passagers et par cela même difficiles à surprendre, à moins d'une étude sur place très prolongée. J'ai examiné bien souvent ces taches persistantes sans y constater de réaction alcaline ni d'efflorescences offrant ce caractère ; mais peut-être ne suis-je jamais arrivé au moment voulu pour une constatation significative.

---

1. Hilgard, Mémoire cité. *Annales de la science agronomique*, 1893, t. II, p. 441.

Ces parties de terrain sont salées et on ne conçoit guère la persistance du sel après tant de lavages répétés à grands volumes d'eau, sinon par l'imperméabilisation du sol argileux qui serait causé par une alcalescence passagère, phénomène qui, se reproduisant périodiquement, empêcherait ainsi le lavage du terrain. Les propriétaires de la Camargue qui m'ont assisté dans mes visites en m'accompagnant sur leurs terres seront à même, par l'emploi du papier de tournesol, qui marque instantanément dans le cas de la présence d'une minime trace d'alcali, de vérifier le bien-fondé de cette hypothèse.

C'est parce que je la crois telle que j'ai parlé plus haut du plâtrage comme d'un procédé à expérimenter d'une manière suivie sur les taches réfractaires. Pour les mêmes motifs, je crois que l'application du plâtre devrait accompagner les essais de défoncements profonds et de drainage peu usités en Camargue. On sait qu'en Californie les terrains alcalins impropres à toute culture ont été complètement modifiés par le plâtrage.

On ne peut pas s'attendre à tirer du plâtrage en Camargue des effets généraux, puisque cet amendement est sans action sur le salant marin qui y prédomine. Mais il est des circonstances, peut-être moins rares qu'elles ne paraissent à présent, où l'effet de cet amendement pourrait être efficace, notamment à la fin du dessalement, lorsque les sols limoneux ont une grande tendance à devenir compacts sous l'influence de l'eau douce qui s'est substituée aux eaux salées. J'ai recommandé à quelques propriétaires des essais de plâtrage. Au mas de Cabane, chez M. de Chevigné, le plâtrage de prairies nouvellement créées en sol salant n'a pas donné de résultat perceptible jusqu'ici. A Aigues-Mortes, chez M. Louis Gros, le plâtrage a été également sans effet sur les terres argilo-calcaires et très salées de Port-Viel. Ces essais négatifs ne doivent pas faire repousser de nouvelles expériences faites dans des conditions différentes, c'est-à-dire à la fin du dessalement.

Je terminerai ce qui a spécialement trait au salant alcalin en reproduisant ici l'analyse de deux échantillons d'efflorescences recueillis dans la Haute-Camargue par l'ancien et sympathique délégué départemental du service phylloxérique dans le Gard, M. Camille

Desjardins, qui me les a remis en mai passé, au cours d'une rencontre fortuite.

Ce sont des efflorescences salines qu'il a récoltées dans sa propriété de Camargue, voisine des marais de Rousty, sur des terres qu'il traite, au point de vue de leur défrichement et de leur dessalage, par des procédés particuliers dont il se réserve de faire connaître lui-même ultérieurement les résultats, quand ses études seront achevées.

Je n'ai pas visité la propriété de M. C. Desjardins, qui a décliné cette visite, et il ne m'a fait parvenir non plus aucune indication sur les conditions dans lesquelles ont été recueillis ses échantillons ni sur les modes de préparation qu'il applique à ses terres. J'ai tout lieu de penser qu'il s'agit là encore de taches alcalines de très peu d'étendue dont la formation dépend de circonstances particulières de délavage. Ces efflorescences recueillies sur des sols alluviaux, comme en témoigne la terre limoneuse qui s'y trouve mêlée, sont très riches en carbonate de soude. J'en transcris ci-dessous les analyses dans la forme même que je leur avais donnée en adressant leurs résultats à M. C. Desjardins.

	1.	2.
Humidité	4.200	13.350
Matières terreuses et insolubles	75.700	52.490
Sulfate de potasse	1.064	1.218
Sulfate de soude	2.004	5.862
Carbonate de soude	13.400	18.760
Chlorure de sodium	1.984	6.732
Matières organiques, etc.	1.648	1.568
	100.000	100.000

En calculant ces résultats pour 100 parties de matières salines, comme plus haut, la composition devient :

	1.	2.
Sulfate de potasse	5.766	3.740
Sulfate de soude	10.860	17.996
Carbonate de soude	72.621	57.596
Chlorure de sodium	10.753	20.658
	100.000	100.000

Grises à l'état de siccité, d'un gris jaunâtre humides, ces efflorescences sont très fortement alcalines et moins riches en matières organiques que celles plus haut décrites, par suite moins colorées. Comme les premières, elles contiennent beaucoup de sulfates alcalins et une forte proportion de potasse. L'acide nitrique y fait défaut et l'acide phosphorique n'existe qu'à l'état de traces.

Il convient à présent d'étudier les taches de salant les plus communes en Camargue et de voir si elles n'offrent pas dans leur nature des différences ayant quelque rapport avec les questions qui viennent d'être examinées.

On trouve dans toute l'étendue du delta des taches salées caractérisées par une couche blanche et cristalline presque uniquement formée de chlorure de sodium. Ce sont les sansouïres, si abondantes dans les terres vierges, dans les landes à salsolacées, qui constituent la surface la plus importante du delta. Il y a peu de chose à dire sur ces taches ; le sel ordinaire en constitue la substance nocive caractéristique. D'autres taches, d'un aspect entièrement différent, se montrent en Camargue, moins fréquentes sur les terres vierges, mais assez répandues dans les terres cultivées. Elles se distinguent des précédentes par une teinte plus foncée du terrain, qui paraît humide et dont la terre foisonne, offrant souvent un aspect farineux et comme sableux, même sur les terres limoneuses.

Lorsque les vents secs du nord et du N.-O. règnent en maîtres sur la contrée, occasionnant, par l'évaporation intense qu'ils provoquent, une remontée active du salant marin et développant à la surface des terres les efflorescences cristallines blanches et dures, craquantes même, de ce genre de salant, les taches plus rares dont nous parlons conservent leur aspect humide. Leur coloration s'accuse par contraste. S'il survient des vents humides, ces taches se foncent en couleur et s'élargissent. Bien souvent la couleur de ces taches m'a fait penser à la présence du salant alcalin. Cependant, je n'ai jamais obtenu la réaction alcaline, même dans les parties les plus foncées, où toute végétation était absente et où les semences n'avaient pas germé. Le sel marin est encore sur ce genre de taches l'élément prédominant, mais il est accompagné de proportions élevées de

chlorure de magnésium et de chlorure de calcium et ce sont ces sels, extrêmement hygroscopiques, qui en retenant l'eau et l'absorbant même dans l'atmosphère, empêchent la formation des efflorescences et donnent aux terres leur aspect humide et foncé.

Entre ces deux variétés extrêmes de taches salées on trouve naturellement toutes les gradations. Le salant cristallin s'étend et empiète sur les taches à salant hygroscopique lorsque les vents secs soufflent durant une période prolongée. L'inverse se produit par les vents d'est et du S.-E., chargés de vapeurs d'eau ; bien avant que la pluie ait fait son apparition, l'aspect des terres en est profondément modifié.

Cette différenciation des taches salées ne paraît pas avoir éveillé beaucoup l'attention des propriétaires de la Camargue. Lorsque nous avons demandé à nombre d'entre eux s'ils distinguaient plusieurs espèces de taches salées, différentes par leur aspect, la plupart nous ont répondu négativement. Ils admettent toutefois l'existence de taches salées mauvaises, dites réfractaires, mais sans fournir de réponses concordantes quant aux caractères apparents qui pourraient servir à les distinguer des taches ordinaires, qui cèdent au lavage et à la submersion. Ces taches mauvaises et réfractaires sont souvent celles du salant hygroscopique. Mais ce qui peut établir la confusion, c'est que des taches à salant cristallin se transforment quelquefois en taches à salant humide. C'est pourquoi les terres cultivées renferment, proportionnellement aux sols vierges, davantage de ces dernières.

Dans la région des basses plaines de l'Aude, région salée plus aride peut-être que la Camargue, la remarque de ces deux variétés de salant a été faite ; un éminent viticulteur submersionniste qui, aux environs de Narbonne, a consacré avec succès de grands efforts à l'amélioration des terres salées par le drainage, M. Gaston Gautier, a rendu compte de cette observation dans les termes suivants : « L'observation populaire, il n'est pas inutile de le constater, qui distingue plusieurs variétés de salant ou *salcubres*, le *salant fort* et le *salant doux* ou *noir*, repose sur un fait réel et sur une composition chimique différente. Dans le premier (*salant fort*), caractérisé par une teinte blanchâtre et une adhérence des molécules du sol

entre elles plus grandes que dans le second, c'est le chlorure de sodium qui prédomine ; dans l'autre (*salant doux* ou *noir*), qui prend même en temps de sécheresse une teinte plus foncée, due sans doute à la déliquescence extrême du sel, le sol s'effrite à la surface et devient farineux au contact ; ici ce sont les sels de magnésie qui ont la priorité ; le salant à magnésie est plus rebelle à toute culture que celui à base de soude[1]. »

Ce n'est pas seulement le chlorure de magnésium, mais aussi le chlorure de calcium qui caractérise le salant hygroscopique mentionné si explicitement par M. G. Gautier. Comme exemple bien typique de cette nature de salant, je transcris ci-dessous l'analyse d'une couche superficielle de terre, d'environ un centimètre d'épaisseur, recueillie en juillet 1895 au mas de Cabassole sur une terre ensemencée en céréales, bordant la route qui domine au nord le Valcarès. L'aspect brun de certaines parties du terrain, où la semence n'avait pas germé et où toute végétation était absente, m'avait frappé. Je me suis arrêté un instant pour rechercher la réaction alcaline, que le terrain n'a pas offerte, et pour recueillir, dans les parties les plus stérilisées, cet échantillon superficiel. Les terres voisines, entre le Valcarès et la route, montraient d'ailleurs des taches tout à fait semblables.

Pour 100 parties de l'échantillon, l'analyse a donné les résultats suivants :

Humidité	6.85	100.000
Partie soluble	5.84	
Partie insoluble.	87.31	

1. « Sur la formation de la basse plaine de Narbonne et les meilleures méthodes pour la mise en culture de ses terrains marécageux et salés », par M. G. Gautier (*Revue des Pyrénées et de la France méridionale,* n° 2, 1891).

Analyse de la partie soluble :

Alcalis (très peu de potasse)	1.221
Magnésie	0.562
Chaux	0.784
Acide sulfurique	0.172
Chlore	3.065
Manquant pour la saturation[1] des bases calculé en acide carbonique.	0.102
	5.906
Oxygène à déduire pour les bases correspondant aux chlorures	0.692
Total	5.214

En cherchant à représenter les dosages précédents pour 100 parties de sels, on arrive à l'interprétation suivante, qui n'a, bien entendu, rien d'absolu :

Chlorures alcalins	44.128
Chlorure de magnésium	25.554
Chlorure de calcium	20.260
Sulfate de chaux	5.610
Carbonate de chaux	4.448
	100.000

Les chlorures déliquescents de magnésium et de calcium forment, on le voit, une masse aussi considérable que le chlorure de sodium. Il n'est pas surprenant qu'un sol imprégné à sa surface, et au taux de presque 6 p. 100, d'un tel mélange manifeste des propriétés hygroscopiques très accusées. D'après la proportion d'humidité (6.85) comparée au poids de la partie soluble (5.84), une forte partie des sels est à l'état d'efflorescences cristallisées, ce que l'aspect humide du sol ne permettrait guère de soupçonner. Les chlorures de magnésium et de calcium sont probablement les seuls sels main-

1. L'excès des bases par rapport au chlore et à l'acide sulfurique a été calculé en acide carbonique. En réalité, cet excès correspond plutôt à des acides organiques, car les bicarbonates n'existent qu'en très faible proportion. La dessiccation de l'extrait aqueux à 105° C. ne fait pas apparaître un résidu insoluble sensible. Après calcination, l'extrait n'a présenté aucune valeur alcaline. Pour plusieurs des analyses qui suivent et qui accusent un manquant de saturation plus considérable que ci-dessus, on se reportera à la présente observation.

tenus en dissolution dans le liquide qui imprègne la surface du sol. Pour 100 parties d'eau du sol il existe, en effet, d'après les chiffres rappelés ci-dessus, 85 parties de substances solubles. On conçoit que la présence de dissolutions aussi concentrées soit des plus nocives pour la végétation ; aussi, les parties de terrain occupées par ces taches brunes et hygroscopiques sont-elles absolument stériles, même pour les salsolacées, qui supportent le contact des efflorescences blanches du sel marin proprement dit.

Je reproduis ci-dessous, avec les indications descriptives des différentes taches salées sur lesquelles je les ai recueillis, l'analyse d'échantillons de salant observé sur des terres vierges à enganes.

Taches de salant foncé et humide au mas de Cabane ; échantillons recueillis en juin 1894.

	1. Épaisseur : 1 centimètre à la surface d'un sol vierge de couleur brune. Emplacement stérile.		2. Épaisseur : 3 centimètres à la surface d'un sol vierge. Salant non cristallin, de couleur brune, humide. Emplacement stérile.		3. Clos Est nº 5. Épaisseur : 8 centimètres. Sol vierge avec espaces dénudés et stériles.	
Humidité	10.06	100.00	5.60	100.00	11.04	100.00
Partie soluble	16.44		3 30		1.94	
— insoluble	73.50		91.10		87.02	

Analyse de la partie soluble :

Potasse	0.444	Alcalis	0.896	Ko	0.037
Soude	6.413			NaO	0.435
Magnésie	0.950		0.127		0.159
Chaux	0.555		0.683		0.168
Acide sulfurique	0.166		0.034		0.0446
Chlore	9.825		1.553		0.860
Manquant pour la saturation des bases calculé en acide carbonique	0.045		0.329		0.0745
	18.398		3.622		1.7781
Oxygène à déduire pour les bases à l'état de chlorures	2.219		0.351		0.1942
Total	16.179		3.271		1.5839

Ces résultats, calculés en centièmes et en combinaisons salines, donnent lieu aux interprétations suivantes :

	1.	2.	3.
Chlorure de potassium	4.335	51.600	KCl. 3.68
— de sodium	74.732		NaCl. 51.78
— de magnésium	13.905	9.205	23.81
— de calcium	4.464	14.593	5.24
Sulfate de chaux	1.741	1.767	4.79
Sels organiques en carbonate de chaux	0.629	22.835	10.70
	99.806	100.000	100.00
Pour 100 d'eau dans le sol, proportion de substances solubles	163.4	58.9	17.5

Aucun des extraits aqueux de ces efflorescences n'était alcalin après calcination.

Au mas de Cabane j'ai recueilli à la même époque une couche plus épaisse de sol salant ($0^m,40$ d'épaisseur), dans une partie où les boutures de vigne (jacquez), mises plusieurs années de suite en terre, n'ont jamais pu s'enraciner. Le terrain labouré était en cette place foisonnant et farineux.

Humidité	7.80	100.00
Partie soluble	0.36	
Partie insoluble	91.85	

Analyse de la partie soluble :

Potasse	0.012
Soude	0.096
Magnésie	0.020
Chaux	0.044
Acide sulfurique	0.048
Chlore	0.098
Manquant pour la saturation des bases calculé en acide carbonique	0.043
	0.361
Oxygène à déduire pour les bases à l'état de chlorures	0.022
Total	0.339
Pour 100 d'eau dans le sol, taux des substances solubles	4.60

Cet échantillon est spécialement intéressant. L'extrait aqueux en était neutre ; desséché, puis calciné, il n'a pas donné lieu à une réaction alcaline. Cependant, ce terrain a dû présenter des manifestations alcalines, car la composition des sels qu'il renferme montre que, contrairement aux échantillons qui précèdent, les sels, chlorures terreux, sulfate de chaux, qui pourraient détruire l'alcali n'y sont pas représentés. L'interprétation suivante est, en effet, presque la seule possible :

Chlorure de sodium		47.50
Sulfate de potasse		6.50
— de soude		7.23
— de magnésie		10.71
Sels organiques représentés en	carbonate de magnésie	4.90
	— de chaux	23.16
		100.00

La portion de terrain qui se réfère à cette analyse forme une étroite bande, proche d'un canal d'irrigation. Le défaut constant de reprise des boutures a été attribué au refoulement de la nappe salée du sous-sol causé par cette situation. Cette explication n'est assurément pas exacte. Le voisinage du canal d'eau douce a créé des condition de délavage qui ont fait sans doute apparaître le salant alcalin.

Dans le même domaine du mas de Cabane, j'ai recueilli sur un sol récemment préparé pour l'établissement d'une prairie, sol salé couvert d'enganes avant le défoncement, une série d'échantillons pris au même point, mais à différents niveaux en profondeur.

Dans les deux tableaux ci-après on trouvera les résultats de l'analyse de ces divers échantillons et l'interprétation de ces résultats en centièmes de sels.

J'aurais voulu faire plusieurs séries de prélèvements analogues, persuadé que l'étude du salant à différents niveaux du sol et à diverses époques de l'année est l'une des voies à suivre pour déterminer les modifications que subissent les sels au contact du terrain, suivant les conditions climatériques. De cette expérience isolée il

n'est pas sans doute permis de tirer des conclusions trop générales. On remarquera toutefois un fait assez significatif : c'est l'abondance des chlorures terreux par rapport aux chlorures alcalins dans les couches supérieures du terrain.

	CHLORURES alcalins. — p. 100.		p. 100.	
A la surface on trouve . .	48.92	pour	46.29	de chlorure terreux.
De 5 à 10 centimètres. .	53.70	—	17.804	de chlorure de magnésium.
De 10 à 20 — . .	54.95	—	18.32	—
De 20 à 30 — . .	58.658	—	16.32	—
De 30 à 40 — . .	57.34	—	19.80	—
De 76 à 82 — . .	63.401	—	12.591	—

Le rapport entre ces sels apparaît comme inverse suivant le niveau considéré.

Composition du salant à diverses profondeurs.

(Échantillons prélevés au mas de Cabane.)

POUR 100 PARTIES DE L'ÉCHANTILLON.	1 COUCHE très superficielle, épaisseur 2 centimètr. sur tache salée brune et quelques efflorescences blanches.	2 COUCHE comprise entre 5 et 10 centimètres de profondeur.	3 COUCHE comprise entre 10 et 20 centimètres de profondeur.	4 COUCHE comprise entre 20 et 30 centimètres de profondeur.	5 COUCHE comprise entre 30 et 40 centimètres de profondeur.	6 COUCHE comprise entre 76 à 82 centimètres de profondeur.
Humidité	11.72	9.96	9.80	10.88	12.60	20.06
Partie soluble	7.64	0.76	0.88	0.80	0.65	0.82
Partie insoluble	82.30	89.28	89.32	88.32	86.75	79.12
Analyse de la partie soluble.						
Potasse	0.066	0.209	0.249	0.238	0.188	0 267
Soude	1.608					
Magnésie	0.597	0.063	0.076	0.069	0.063	0.073
Chaux.	0.896	0.101	0.112	0.084	0.062	0.067
Chlore.	3.905	0 336	0.4015	0.365	0.306	0.3796
Acide sulfurique	0.172	0.027	0.018	0.015	0.014	0.021
Manquant pour saturer les bases calculées en acide carbonique. . .	0.005	0.079	0.089	0.075	0.053	0.075
Oxygène à déduire correspondant aux bases à l'état de chlorures . .	7.249	0.815	0.9455	0 846	0.686	0.8826
	0.882	0.076	0.0907	0.082	0.069	0.0856
Totaux.	6.367	0.739	0.8548	0.764	0.617	0.797

Composition du salant à diverses profondeurs.

(Interprétation des analyses portées au tableau précédent.)

NATURE DES SELS POUR 100 PARTIES.	1 COUCHE très superficielle, épaisseur 2 centimètr.	2 COUCHE de 5 à 10 centimètres.	3 COUCHE de 10 à 20 centimètres.	4 COUCHE de 20 à 30 centimètres.	5 COUCHE de 30 à 40 centimètres.	6 COUCHE de 76 à 82 centimètres.
Chlorures alcalins . . .	48.92	53.615	54.95	58.658	57.35	63.401
Chlorure de magnésium.	22.33	17.804	18.32	16.320	19.80	12.591
Chlorure de calcium . .	23.96	"	"	"	"	"
Sulfate de chaux	4.60	6.261	3.58	3.330	3.85	4.501
Sels organiques calculés en carbonate de magnésie.	"	2.320	2.40	4.500	3.90	8.182
Sels organiques calculés en carbonate de chaux.	0.19	20.000	20.75	17.172	15.10	11.325
Totaux	100.00	100.00	100.00	99.980	100 00	100.00
Pour 100 de terre humide, taux des matières salines.	6.367	0.739	0.855	0.764	0.617	0.797
Pour 100 d'eau dans le sol, taux des substances solubles	65.18	7.62	8.97	7.35	5.15	4.08

Dans la couche supérieure se trouvent accumulés les chlorures terreux tandis qu'ils diminuent progressivement en profondeur. L'inverse a lieu pour le sel marin, plus abondant proportionnellement dans les couches profondes que dans celles supérieures.

Je rapporterai encore deux analyses faites sur les efflorescences salines recueillies au pourtour des baisses alcalines décrites dans ce chapitre, et très près de l'eau alcaline. Plus haut, sur les talus, les efflorescenees sont très nettement cristallines, blanches et formées de sel marin à peu près pur. De vigoureuses salsolacées poussent au contact de ces dernières.

Efflorescences salines au contact de la vase au pourtour des baisses.

	I BAISSE D'ICARD.	II BAISSE DE MAGUELONNE.
Partie soluble pour 100	9.94	6.68

Analyse de la partie soluble.

Alcalis (potasse très rare)	3.922	2.766
Magnésie	0.290	0.362
Chaux	0.275	0.202
Chlore	4.599	3.229
Acide sulfurique	0.456	0.394
Manquant pour la saturation des bases calculé en acide carbonique	0.211	0.297
Total	9.753	7.250
Oxygène à soustraire pour les bases à l'état de chlorures	1.039	0.729
Total	8.714	6.521

Résultats qui peuvent être interprétés comme suit pour 100 parties de sels :

Chlorures alcalins	84.812	79.95
— de magnésium.	1.813	1.405
Sulfate de magnésie	7.693	9.060
— de chaux.	0.179	0.000
Sels organiques calculés en . { carbonate de magnésie.	0.000	4.055
Sels organiques calculés en . { — de chaux. .	5.503	5.530
Total	100.000	100.000

La baisse la plus alcaline était celle de Maguelonne, dont la composition des eaux a été mentionnée plus haut. On se rappelle que les eaux de ces baisses, qui offraient sur place une réaction alcaline marquée, devenaient rapidement neutres par rétroaction. Les sels qui cristallisent au pourtour immédiat de ces baisses ne renferment pas de carbonate de soude, comme le démontrent les deux analyses qui viennent d'être transcrites.

Si nous essayons à présent de résumer les documents analytiques contenus dans le présent travail, nous pouvons voir qu'ils conduisent à la conception d'une variété assez grande de taches salées évidemment dérivées les unes des autres, quoiqu'il ne soit pas possible dans l'état de notre étude d'en tracer avec sûreté la filiation.

Les taches salées blanches et cristallines, non hygroscopiques, représentent le salant marin pour ainsi dire non remanié, c'est-à-dire offrant la composition des sels contenus dans la mer et dont le

chlorure de sodium est le corps prédominant. Ces taches sont de beaucoup les plus répandues en Camargue. Ce sont elles qui constituent les sansouïres blanches qui couvrent les landes à salsolacées, terres vierges qui forment encore la plus grande superficie du delta.

Sous l'influence du délavage superficiel, dont les conditions sont mal connues, le salant hygroscopique apparaît à côté du précédent dans les terres vierges et surtout dans les terres cultivées. Il est caractérisé par une proportion élevée de chlorure de magnésium et même de chlorure de calcium. Cette abondance des chlorures terreux est-elle le résultat de la disparition des efflorescences de sel marin par les lavages superficiels du sol? Ne dépend-elle pas aussi de la réaction d'échange entre le sel marin et le bicarbonate de chaux? En ce cas, et la chose est bien probable, surtout à cause de la présence du chlorure de calcium, les taches hygroscopiques représenteraient l'opposé et la contre-partie des taches à alcali persistant, bien plus rares en Camargue. Comment, dès lors, s'effectue la séparation du carbonate sodique, si cette hypothèse est fondée, et à quel moment? Tel est le point difficile de cette étude et qui n'a pas reçu de solution.

En tout cas, ces taches à chlorures déliquescents sont le résultat du remaniement du salant marin et les taches alcalines persistantes sont dans le même cas. Il semble que chacune de ces catégories de salant résulte de la même transformation dont les produits ont suivi des routes différentes. Mais le salant alcalin est bien rare, tandis que le salant hygroscopique est fort répandu.

On peut former l'hypothèse plausible suivante : le carbonate sodique, sel très grimpant, gagne le premier les couches superficielles du sol, d'où les pluies l'entraînent, sans trop délaver le sol sous-jacent, à cause de l'imperméabilisation qui se produit immédiatement au contact de la solution alcaline. Par ce mécanisme on peut concevoir une séparation, incomplète sans doute, mais suffisante pour conduire à ces taches distinctes des deux salants[1]. Le salant

1. M. de Mondésir a indiqué tout au long dans son Mémoire, cité au commencement de ce chapitre, un mode de séparation tout différent. J'ai traité plusieurs terres salées de Camargue par les procédés d'extraction indiqués par ce savant, mais je n'ai pas

alcalin serait très rare, parce que le carbonate de soude entraîné rencontre dans son parcours les sels, chlorures terreux, sulfate calcique qui le détruisent. Dans des conditions exceptionnelles seulement et lorsque ces sels ont disparu, il pourrait former des taches alcalines persistantes.

La même hypothèse rend compte de l'existence des taches salées les plus mauvaises de la Camargue. La solution alcaline, en se réunissant dans les faibles dépressions des terres, imperméabiliserait leur sol et en rendrait le lavage impossible, quoique bientôt cependant toute trace d'alcali ait cessé de se manifester, par suite de la rétroaction causée par les sels antagonistes que le délavage entraîne ultérieurement. D'ailleurs, le sel étant reformé sur place dans ces points déclives, qui sont en outre le repaire des matières salines du délavage superficiel, la persistance de ces taches s'expliquerait sans peine. L'analyse chimique montre, en tout cas, que le sol des taches persistantes ne diffère aucunement, comme composition, des sols voisins où les cultures sont florissantes. La différence est dans la salure beaucoup plus marquée du sous-sol. Quelquefois même, cette différence manque et alors, peut-être, il s'agit vraiment d'une action alcaline temporaire. Le sol de ces taches persistantes, réfractaires, est le plus souvent très dur et compact.

Telles sont les hypothèses suggérées dans l'état de notre travail. Nous ne pouvons leur donner qu'une créance provisoire et nous regrettons même d'être obligé de les formuler, alors que des investigations nouvelles restent encore indispensables pour en confirmer le bien-fondé.

Il y aurait encore beaucoup de choses utiles à dire au sujet de la salure des terres quant aux conditions qui la rendent nocive. Outre cette question principale de la nature et de la composition du salant, il faudrait considérer attentivement la proportion des sels que les plantes peuvent tolérer. On a l'habitude de fixer proportionnellement à la masse de la terre la quantité des sels qui rend la végéta-

---

réussi à en retirer du carbonate de soude. Ceci n'a rien de surprenant, les sols du delta étant très pauvres en matières humiques capables de jouer le rôle absorbant que l'étude de M. de Mondésir a mis en évidence.

tion impossible. Une remarque est à signaler à ce sujet. Les teneurs en sel n'ont d'importance que par rapport au taux d'humidité du sol, car c'est la concentration de la solution saline qui cause la stérilité du terrain. Aussi, peut-on dire que sous un climat aride où les sols se dessèchent, les plus faibles proportions de sel doivent être considérées comme nuisibles. Les accidents du salant sont à craindre dans les années sèches, même sur les terres où depuis longtemps ils ont cessé de se manifester. C'est là une différence très essentielle à faire ressortir par rapport aux plaines salées de l'Océan du Nord. La même proportion de sel qui est tolérée par les cultures établies dans les *polders* proscrirait la végétation dans les plaines méridionales, soumises à de longues périodes sans pluies, encore aggravées par le régime desséchant du mistral.

Une étude approfondie du salant ne pourra être complète, dans ces régions méridionales, qu'en y joignant simultanément l'observation des conditions climatériques. Je crois avoir montré de plus que la mutabilité des phénomènes du salant entraînait des difficultés spéciales pour en surprendre les diverses phases, dont certaines ont un caractère essentiellement fugitif. Le retard considérable apporté à l'achèvement du présent mémoire n'a pas d'autre cause que la difficulté que présente l'étude de ces variations. On voudra bien considérer que la contribution actuelle n'est, en ce qui concerne le salant, qu'un acheminement vers une connaissance plus parfaite de ces phénomènes complexes.

Qu'il me soit permis en terminant d'exprimer ici ma reconnaissance aux propriétaires de la Camargue qui m'ont aidé de leur concours le plus dévoué. J'ai déjà cité M. Louis Gros ; il me faut mentionner encore d'une manière toute particulière MM. de Chevigné, Espitalier, Savoy, P. Peyron, M. Martin, maire d'Arles, et MM. les syndics de la digue à la mer, qui m'ont en maintes occasions facilité l'accès de ce territoire difficile. J'ai aussi à remercier ici M. Villeboutchevich, jeune savant russe qui a traduit et fait connaître en France le mémoire important de M. W. Hilgard, que j'ai eu l'occasion de citer souvent. Je dois à M. Villeboutchevich beaucoup d'indications bibliographiques sur les terres salées, dont j'ai tiré parti dans la mesure du possible.

Enfin, je dois une mention spéciale à M. W. Hilgard, dont le nom est intimement lié à l'étude des territoires arides, et qui a bien voulu m'adresser ses publications les plus intéressantes sur un sujet encore peu connu en France.

On trouvera aux annexes du présent mémoire une note de M. Hilgard au sujet de l'analyse des efflorescences salines. Elle m'a été transmise par l'auteur et j'ai cru utile de la reproduire ici en en modifiant à peine la forme originale.

Observations udométriques mensuelles faites à Aigues-Mortes de 1871 à 1895.

(Hauteurs d'eau exprimées en millimètres)

MOIS.	1871	1872	1873	1874	1875	1876	1877	1878	1879	1880	1881	1882	1883	1884	1885	1886	1887	1888	1889	1890	1891	1892	1893	1894	1895
	mil.	mil.	mil.	mil.	mil.	mil.	mil.	mil.	mil.	mil.	mil.	mil.	mil.	mil.	mil.	mil.	mil.	mil.	mil.	mil.	mil.	mil.	mil.	mil.	mil.
Janvier .	28	110	60	26,0	1	175	17,0	13,00	146,50	4,30	178,25	52,50	67,50	28,0	77,00	32,00	79,0	71,5	61,5	44,0	"	44,0	"	35	3
Février. .	40	111	19	55,5	37	32	"	"	26,50	31,50	28,50	30,50	30,00	10,5	20,50	14,50	55,0	84,0	"	113,5	13,00	49,5	15	2	40
Mars. . .	60	96	23	17,0	8	31	9,0	2,00	67,25	39,50	32,50	2,00	35,50	"	2,25	51,00	43,5	7,5	22,2	55,0	30,00	56,0	8	"	34
Avril. . .	"	8	9	75,0	119	94	93,0	48,50	99,75	125,20	45,00	69,50	130,00	125,5	99,00	34,25	114,0	33,0	87,0	39,5	62,50	"	33	36	28
Mai . . .	124	54	"	10,0	"	22	34,0	53,50	91,00	42,00	61,50	31,50	11,00	62,0	17,00	18,50	12,0	19,0	24,5	77,0	64,50	2,5	12	107	152
Juin . . .	109	20	17	61,0	118	57	34,5	32,00	22,50	49,25	6,00	"	31,50	57,5	66,00	"	27,0	124,8	70,5	"	65,25	36,0	30	3	137
Juillet . .	3	35	6	19,0	29	"	7,5	"	41,50	6,50	"	47,50	43,75	"	11,50	15,00	70,0	42,2	9,0	2,0	22,75	29,5	31	"	27
Août. . .	"	14	23	"	"	143	9,0	2,00	4,50	151,20	22,00	15,50	35,00	14,5	139,00	2,50	32,0	87,0	"	13,0	32,00	84,0	38	9	16
Septembre	206	"	26	62,0	172	"	24,0	"	97,00	33,00	3,00	54,00	17,00	31,0	59,00	35,50	15,5	45,0	3,5	35,0	8,50	"	71	"	"
Octobre .	136	273	64	58,0	115	15	7,5	48,25	26,00	40,00	72,50	56,75	11,50	21,0	81,00	183,50	9,0	1,5	121,5	8,5	157,00	79,0	21	16	68
Novembre	162	20	137	14,0	14	56	33,0	65,25	14,00	129,50	2,00	5,00	21,00	56,0	109,75	53,00	76,0	113,5	7,0	37,5	126,75	30,0	45	144	50
Décembre	22	43	"	16,0	15	126	23,0	49,50	12,00	4,25	86,00	82,50	3,00	63,5	"	15,50	43,0	195,0	18,0	74,5	24,50	"	14	10	120
TOTAUX par année.	890	784	384	413,5	628	751	361,5	314,00	648,50	656,20	537,25	447,25	436,75	519,5	682,00	455,25	576,0	824,0	424,7	499,5	666,75	418,5	318	362	675

Observations udométriques mensuelles pour cinq stations de la Camargue, années 1882 à 1895 (janvier à décembre).

(Extrait des *Bulletins de la Commission météorologique des Bouches-du-Rhône.*)

[Hauteurs d'eau en millimètres.]

ANNÉES ET STATIONS.	JANVIER.	FÉVRIER.	MARS.	AVRIL.	MAI.	JUIN.	JUILLET.	AOUT.	SEPTEMBRE.	OCTOBRE.	NOVEMBRE.	DÉCEMBRE.	TOTAL pour l'année.
1882													
Arles	61	12	12	63	33	0	26	24	88	110	6	89	524
L'Étourneau	54	5	13	62	14	6	21	22	88	84	7	61	431
Giraud	58	35	23	79	17	0	16	20	99	90	3	78	518
Faraman	39	32	17	67	3	0	9	23	109	84	0	71	454
Saintes-Maries	65	19	8	85	6	0	19	26	102	133	4	90	557
1883													
Arles	68	48	38	118	31	35	38	1	54	10	14	7	462
L'Étourneau	53	30	33	76	14	21	21	0	49	4	10	9	320
Giraud	82	37	36	119	12	35	20	0	16	0	2	11	370
Faraman	110	32	36	121	13	18	30	0	29	0	3	27	419
Saintes-Maries	88	48	34	179	21	26	15	0	27	0	8	9	455
1884													
Arles	5	26	10	77	89	37	10	19	90	20	30	74	487
L'Étourneau	3	12	6	63	119	153	38	21	95	0	13	31	584
Giraud	27	4	20	82	121	79	2	20	75	25	18	100	577
Faraman	10	22	23	100	77	67	4	16	74	12	14	65	484
Saintes-Maries	14	3	21	94	113	77	8	4	91	17	31	80	553
1885													
Arles	60	38	17	86	36	168	15	57	109	114	105	6	84
L'Étourneau	29	15	17	76	23	62	5	67	77	92	80	0	543
Giraud	65	22	15	112	12	57	1	24	29	102	106	7	552
Faraman	69	15	10	106	8	70	0	16	19	93	90	1	499
Saintes-Maries	90	31	18	115	21	52	24	92	63	80	112	4	702
1886													
Arles	54	16	54	28	17	14	22	9	130	257	71	14	686
L'Étourneau	67	16	41	26	5	5	4	4	64	202	49	7	490
Giraud	104	28	56	38	10	12	5	5	52	171	47	4	532
Faraman	107	50	56	31	4	12	4	3	30	159	40	0	496
Saintes-Maries	80	23	59	41	9	10	13	8	83	183	34	15	558

ANNÉES ET STATIONS.	JANVIER.	FÉVRIER.	MARS.	AVRIL.	MAI.	JUIN.	JUILLET.	AOUT.	SEPTEMBRE.	OCTOBRE.	NOVEMBRE.	DÉCEMBRE.	TOTAL pour l'année.
1887													
Arles	57	70	29	94	30	18	83	31	29	21	106	100	668
L'Étourneau	0	57	14	21	3	32	51	46	11	14	110	31	390
Giraud	66	69	31	95	15	11	33	31	14	43	96	54	558
Faraman	62	66	13	106	20	5	42	3	28	44	84	60	533
Saintes-Maries	77	57	34	104	20	25	33	13	35	14	108	35	555
1888													
Arles	37	101	13	40	13	168	53	66	20	3	108	337	959
L'Étourneau	19	25	4	21	0	104	28	57	11	0	84	230	583
Giraud	35	113	0	25	13	94	44	67	18	0	126	346	881
Faraman	24	55	6	22	10	84	44	108	13	0	123	283	772
Saintes-Maries	24	70	2	28	21	212	36	64	41	0	115	221	834
1889													
Arles	28	29	46	89	69	24	20	1	3	113	21	27	470
L'Étourneau	14	22	33	57	47	16	21	0	5	125	0	14	354
Giraud	19	21	32	62	58	35	18	1	3	146	7	30	432
Faraman	24	26	20	63	51	71	12	0	0	166	4	14	451
Saintes-Maries	47	21	23	106	34	75	12	1	8	152	5	15	499
1890													
Arles	76	54	61	54	104	13	4	36	48	14	32	45	541
L'Étourneau	54	38	40	49	79	0	6	36	37	19	36	53	447
Giraud	36	44	49	49	75	0	6	50	44	40	18	88	499
Faraman	32	42	30	47	63	0	0	32	42	3	0	82	353
Saintes-Maries	40	86	41	33	105	3	4	36	23	16	36	89	512
1891													
Arles	3	7	39	27	128	78	41	29	16	230	103	35	736
L'Étourneau	0	4	13	11	37	48	22	5	4	102	84	15	345
Giraud	5	7	18	26	53	49	21	12	11	90	132	29	453
Faraman	0	0	0	17	84	0	17	15	2	31	0	0	166
Saintes-Maries	3	4	29	53	60	55	28	26	8	174	157	39	636
1892													
Arles	43	70	75	32	19	65	31	52	134	80	109	5	715
L'Étourneau	31	37	45	38	11	8	9	30	24	41	58	0	332
Giraud	42	75	75	15	16	10	16	43	66	42	51	4	455
Faraman	41	63	66	12	8	0	0	0	19	69	51	0	329
Saintes-Maries	38	82	62	34	9	16	20	15	4	56	100	8	444

ANNÉES ET STATIONS.	JANVIER.	FÉVRIER.	MARS.	AVRIL.	MAI.	JUIN.	JUILLET.	AOUT.	SEPTEMBRE.	OCTOBRE.	NOVEMBRE.	DÉCEMBRE.	TOTAL pour l'année.
1893													
Arles	3	14	5	81	50	59	21	62	71	36	53	62	517
L'Étourneau	0	24	11	97	29	23	0	54	38	40	34	17	367
Giraud	6	33	9	54	37	26	6	27	22	40	48	25	333
Faraman	0	36	9	4	18	15	8	31	14	29	39	22	225
Saintes-Maries	3	26	10	55	37	38	15	55	100	26	56	17	438
1894													
Arles	28	3	17	37	154	6	7	33	13	32	153	13	496
L'Étourneau	28	0	0	24	59	0	5	58	3	62	152	19	410
Giraud	45	3	2	29	42	2	2	24	12	118	219	6	504
Faraman	57	0	0	22	45	2	1	9	13	76	183	8	416
Saintes-Maries	12	2	6	32	64	5	4	24	7	89	208	24	477
1895													
Arles	21	44	23	15	188	98	23	58	5	19	35	78	607
L'Étourneau	0	40	13	10	164	51	27	13	20	36	24	66	464
Giraud	14	53	24	15	170	44	27	8	23	22	38	98	536
Faraman	13	55	25	26	164	39	18	12	27	11	32	107	529
Saintes-Maries	4	37	17	8	156	76	18	14	0	60	37	96	523

NOTE

DE M. E.-W. HILGARD, PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE, DIRECTEUR DE LA STATION EXPÉRIMENTALE AGRICOLE DE BERKELEY, SUR L'ANALYSE DES EFFLORESCENCES DES TERRES SALÉES.

Quand il n'existe que des sels neutres, le lessivage de la terre se fait sans difficultés. Pour connaître le contenu général de la terre en substances salines, il convient de prendre l'échantillon à la profondeur d'au moins $0^m,20$. Plus près de la surface, il y a déjà accumulation des sels par évaporation superficielle. La couche supérieure, de $0^m,01$ par exemple d'épaisseur, peut contenir jusqu'à quatre fois plus que la terre en général. Comme on le sait, la croûte superficielle peut être composée de sels presque purs.

En supposant que le sous-sol renferme environ 2 p. 100 de sels neutres, on prend 10 gr. de terre pour le lavage. Le liquide de filtration sera limpide et on n'aura aucune difficulté à titrer dans des portions convenablement fractionnées le chlore et l'acide sulfurique. Dans le cas où l'analyse qualitative préalable a indiqué la présence des chlorures ou sulfates de chaux et de magnésie, on dose ces corps dans le liquide filtré du précipité de sulfate de baryum en faisant évaporer ce liquide avec un excès d'acide nitrique, puis en suivant la méthode de séparation des alcalis par l'acide oxalique, ou bien on les précipite dans une partie spéciale de la liqueur d'extraction, ce qui vaut mieux, surtout quand le microscope n'accuse pas dans une goutte du lessivage, mêlée à une goutte de chlorure de platine, une proportion notable de potasse. En ce cas, il devient naturellement superflu de doser directement la soude.

Lorsque la terre mise en contact, mouillée avec le papier rouge de tournesol indique une réaction alcaline prompte, il est quelquefois bien difficile d'effectuer le lessivage, car, dès que la liqueur de

dissolution devient faible, l'argile colloïdale se délaye et traverse les filtres. L'extraction des sels devient ainsi impraticable. Mais, par un moyen détourné, on peut réussir cette extraction en opérant de la manière suivante : on évapore la liqueur trouble dans un vase à fond plat jusqu'à sec. Puis on y met de l'eau jusqu'à $0^m,01$ de hauteur, en ayant soin de ne pas soulever l'argile. On place le vase à une chaleur tiède afin seulement de faire circuler l'eau sans mettre en suspension le sédiment. En répétant soigneusement cette opération, on parvient à laver l'argile sans la délayer. On évapore alors à sec le liquide clair, mais presque toujours très coloré par la dissolution de l'humus. On sèche à 100 degrés centigrades le résidu et on le pèse, puis on le calcine et on le pèse encore, cela pour évaluer à peu près le quantum des matières organiques. L'eau et les nitrates, qui donnent une perte par cette calcination, faussent naturellement le résultat obtenu. On titre ensuite le carbonate alcalin dans une portion du liquide.

Comme, dans ce cas, il n'y a pas à considérer les sels de chaux et de magnésie, le dosage du chlore et celui de l'acide sulfurique mettent fin à l'analyse, à moins qu'il n'y ait des nitrates ou des phosphates ou même ces deux sels simultanément, ou une partie importante de potasse. Le phosphate de soude, qui se trouve très fréquemment dans l'alcali noir (carbonate de soude), est dosé dans une partie spéciale du liquide.

Les nitrates ne peuvent être dosés dans la solution humeuse, l'humus contenant de l'azote. On procède de la manière suivante : on mêle la terre avec un dixième de plâtre pulvérisé. Par ce moyen, les acides humiques sont séparés et de plus on convertit ainsi en sulfate le carbonate de soude ; on peut dès lors faire le lessivage sans difficultés. Dans la liqueur de filtration, on précipite le gypse par une addition d'alcool en quantité convenable (55 p. 100 du volume de la solution totale). En évaporant la filtration, on obtient des sels alcalins en état d'être pesés ; on calcule alors la correction à faire pour le changement du carbonate en sulfate et on obtient ainsi la quantité totale du sel contenue dans le sol. Ensuite on peut convertir le nitrate en ammoniaque, selon la méthode connue, et doser ainsi le salpêtre. On peut encore faire une correction pour le nitrate converti en

carbonate dans la calcination qui a précédé la titration de ce dernier.

Quant à l'interprétation des résultats de l'analyse, elle réclame la plus grande attention. J'ai démontré dans un travail spécial dont je vous fais l'envoi, la compatibilité des sulfates terreux avec les surcarbonates alcalins. Comme les carbonates alcalins se trouvent dans la nature surchargés d'acide carbonique, à l'état de sesquicarbonate ou même d'hydrocarbonate, on doit s'attendre à trouver, dans la dissolution d'alcali naturel, le gypse aussi bien que le sulfate de magnésie en présence d'une réaction fortement alcaline. L'incompatibilité connue ne se manifeste qu'après avoir fait rougir le mélange des sels; l'ébullition seule n'y conduit pas. C'est pour ce motif qu'il faut absolument calciner le résidu du lessivage avant de titrer l'alcalinité; de plus, les acides de l'humus peuvent neutraliser une partie du carbonate dans certaines terres, dont le lavage ne donne qu'une réaction alcaline très faible jusqu'après la calcination.

RECHERCHES SUR LA COMPOSITION

IMMÉDIATE ET ÉLÉMENTAIRE

DES MATIÈRES ALBUMINOÏDES

EXTRAITES

DU GRAIN DES CÉRÉALES

ET DES GRAINES DES LÉGUMINEUSES

CONSÉQUENCES PRATIQUES DE CETTE ÉTUDE

PAR

M. E. FLEURENT

DOCTEUR ÈS SCIENCES
PROFESSEUR REMPLAÇANT DU COURS DE CHIMIE INDUSTRIELLE
AU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

Les substances chimiques azotées que l'on désigne sous le nom de matières protéiques ou albuminoïdes, substances que l'on rencontre à la fois dans les tissus végétaux et animaux, constituent pour l'homme un aliment des plus précieux.

Les plantes, céréales et légumineuses, dont le grain les renferme en proportions variables, forment un élément important de la richesse agricole de contrées entières, et il n'y a pas lieu de s'étonner de l'attention que l'on a apportée, il y a longtemps déjà, à l'étude des farines que l'on sait obtenir depuis la plus haute antiquité, en soumettant ce grain à l'action des engins de mouture.

C'est surtout dans le but d'établir la nature des matières azotées

insolubles dans l'eau contenues dans le grain et les farines de froment que les travaux les plus nombreux ont été exécutés. Dans ce cas, en effet, ces matières azotées se comportent d'une façon tout à fait spéciale. Dès 1742, Beccari a montré qu'à l'inverse de ce qui se passe pour les farines de seigle, de riz, etc., elles peuvent être isolées, par malaxage de la pâte à l'aide d'un courant d'eau, sous la forme d'une masse jaunâtre, d'une élasticité variable, constituant ce que nous avons coutume de désigner sous le nom de gluten.

Ce gluten communique d'abord aux farines de blé la propriété caractéristique de s'étirer en longs filaments sous l'action de la pression des gaz produits pendant la fermentation panaire, et en se coagulant en place pendant la cuisson, il leur permet de donner ensuite naissance à ces pains spongieux et légers si différents des pains gras et lourds qu'on obtient à l'aide des produits de la mouture des autres céréales.

Qu'est-ce donc que ce gluten ? Est-il formé par une matière unique ou par le mélange en proportions variables de plusieurs substances jouissant chacune de propriétés différentes dont les farines elles-mêmes subissent l'influence ? Cette influence, définissant ce qu'on peut appeler la qualité boulangère du gluten et par conséquent des produits qui le contiennent, peut-elle être déterminée avant l'emploi de ces produits à la panification ?

Telles sont les questions principales que les chimistes se sont posées depuis un siècle et parmi ceux-ci il me suffira de citer les noms de Berzélius, de Saussure, Boussingault, Liebig, Dumas et Cahours, pour montrer que la recherche de leur solution n'est pas indigne de la sollicitude des hommes de science.

J'ai essayé d'apporter à la résolution des problèmes que je viens de poser mon contingent d'informations théoriques et pratiques et, après un travail assidu qui n'a pas duré moins de trois années, j'espère avoir réussi à en éclairer quelques points restés obscurs jusqu'ici.

L'exposition qui va suivre sera divisée en plusieurs parties, savoir : 1° composition immédiate du gluten contenu dans le grain des différentes céréales et surtout du grain de blé ; 2° essai d'application d'une méthode chimique à la détermination de la valeur boulangère

des farines de blé ; 3° composition immédiate des matières azotées contenues dans les graines des légumineuses ; 4° répartition du gluten et de ses principes immédiats dans les différentes parties du grain de froment.

I. — COMPOSITION IMMÉDIATE DU GLUTEN DES CÉRÉALES

C'est Einhof[1] qui, le premier, eut l'idée d'appliquer l'emploi de l'alcool à l'extraction des matières protéiques insolubles contenues dans les farines de blé. Il en isola ainsi un produit qu'il ne sut pas différencier du gluten extrait par Beccari. Taddei[2] reprit cette étude et, faisant bouillir le gluten avec de l'alcool, le sépara en un produit soluble auquel il donna le nom de *gliadine* et un produit insoluble qu'il appela *zymon*.

C'est en appliquant tantôt l'emploi du même réactif, tantôt l'emploi de l'acide acétique, que Berzélius, de Saussure, Boussingault, Liebig, Bouchardat, Dumas et Cahours, Mulder, Von Bibra, Günsberg, etc., ont étudié le gluten extrait des farines de blé ; mais comme les résultats contradictoires publiés par ces auteurs n'ont pas réussi à dégager définitivement les inconnues de la question, il est inutile de les analyser et je n'en parle que pour mémoire.

Il faut arriver à 1872, époque à laquelle Ritthausen[3] publia ses travaux, pour voir appliquer à cette étude une méthode d'analyse dans laquelle, à côté de l'emploi de l'alcool, on fit intervenir l'action des solutions caustiques faibles. Ritthausen divisa d'abord, par l'action de l'alcool, le gluten en deux parties l'une insoluble, l'autre soluble.

De la partie insoluble, par action de la potasse de $1^{gr},5$ à $2^{gr},5$ par litre d'eau distillée, après décantation pour séparer « des corps gras en émulsion », précipitation par l'acide acétique ou sulfurique en léger excès, lavage à l'eau et à l'alcool absolu, il isola une substance à laquelle il donna le nom de *gluten-caséine*.

---

1. *Journ. d. Chemie* von Gehlen, 5, 131, 1805.
2. *Annales of. Phil.*, May 1820. *Schweiger's Journ. f. Chem. u. Physik*, 29, 514.
3. *Die Eiweisskörper*, Bonn, 1872.

De la solution alcoolique il isola par évaporation et précipitations fractionnées trois matières nouvelles qu'il appela : *gliadine, mucédine, gluten-fibrine,* cette dernière correspondant à la gliadine de Taddei.

En juin 1893, l'*American Chemical Journal* publia un long mémoire de MM. Osborne et Woorhees, mémoire très intéressant et qui se rapporte à l'étude d'une part des matières azotées solubles dans l'eau, d'autre part à l'étude des matières insolubles constituant le gluten de l'amande du grain de blé.

C'est en 1891 que j'ai été amené moi-même à faire dans cette voie des observations qui m'ont déterminé à poursuivre l'étude que je publie entièrement aujourd'hui. J'ai été conduit, dès cette époque, à faire l'examen de la constitution chimique des matières protéiques végétales en leur appliquant la réaction inaugurée par Schützenberger pour les matières animales et qui consiste à les traiter par la baryte caustique en vase clos. J'ai dû dès lors essayer de séparer le gluten en ses constituants et je me suis immédiatement rendu compte de la difficulté qu'on y éprouve en employant la méthode de Ritthausen. J'ai alors modifié cette méthode[1] pour la rendre plus pratique, j'ai isolé ainsi la gluten-caséine et la gluten-fibrine et j'ai constaté les propriétés sur lesquelles j'insisterai plus loin.

Mes premières observations sont donc antérieures à la publication de MM. Osborne et Woorhees; mais ce que je viens de dire n'a pas pour but de réclamer la priorité sur le travail fort intéressant des précédents auteurs. Je n'en ai pas besoin d'ailleurs. D'une part, ceux-ci ont étudié le gluten en employant une méthode identique à celle de Ritthausen, et, malgré sa défectuosité, je montrerai comment, à côté de résultats erronés, elle a pu néanmoins les conduire à des résultats exacts. D'autre part, l'étude de MM. Osborne et Woorhees étant faite avec l'idée préconçue de la constance de composition des diverses matières azotées, quelle qu'en fût la provenance — les comparaisons qu'ils font entre leurs analyses et celles de leurs prédécesseurs ne laissent aucun doute à ce sujet — ne peut être qu'une étude purement théorique.

1. *Thèse de doctorat,* p. 21.

Au contraire, la méthode que j'ai inaugurée, née d'une conception plus simple et plus en rapport avec les faits que celle des savants que je viens de citer, est à la fois qualitative et quantitative et elle a conduit à des résultats théoriques que j'ai pu immédiatement transporter dans la pratique ainsi qu'on le verra dans le cours de ce développement.

Action de l'alcool sur la farine et sur le gluten du grain de froment.

L'action dissolvante de l'alcool étendu d'eau sur la farine et sur le gluten extrait du grain de froment laisse entre les mains de l'opérateur, dans l'un et l'autre cas, un produit dont les propriétés sont identiques. Cette action dissolvante est la plus favorable lorsqu'on emploie l'alcool à 70° G. L.

Si on lave à plusieurs reprises de la farine avec une liqueur de cette force, ou bien si on met en contact avec elle le gluten extrait par malaxage sous un courant d'eau et divisé en petits fragments, on obtient une solution alcoolique qui, évaporée dans le vide sur le chlorure de calcium, abandonne une substance d'un beau jaune clair, groupée en feuillets gélatineux : ce produit, dont je donnerai tout à l'heure les propriétés, est la gliadine de Taddei, gluten-fibrine de Ritthausen, gélatine végétale de Dumas et Cahours. Avec MM. Osborne et Woorhees, je lui conserverai le nom de gliadine. Elle constitue un des éléments renfermés dans le gluten.

Pour en isoler un deuxième élément, les deux chimistes précédents opèrent de la façon suivante, indiquée par Ritthausen. Le gluten, divisé en petits fragments, est mis en contact avec de l'alcool à 75 p. 100 aussi longtemps qu'il se dissout quelque chose. Le résidu insoluble est dissous dans une solution à 0.15 p. 100 de potasse caustique et la solution abandonnée dans un endroit froid pendant 48 heures. On décante pour séparer des sédiments en suspension, on neutralise la liqueur par de l'acide chlorhydrique dilué et le précipité obtenu est lavé par décantation à l'eau, puis à l'alcool de 0.90 de densité, puis à l'alcool plus fort, et finalement à l'alcool absolu et à l'éther. Ce précipité est alors redissous dans la potasse

à 0.10 p. 100 et abandonné pendant une nuit. La liqueur est filtrée et précipitée par l'acide chlorhydrique à 0.2 p. 100. Le précipité est lavé à l'eau, à l'alcool fort, à l'alcool absolu et à l'éther. Finalement le produit obtenu est desséché dans le vide sur l'acide sulfurique. On peut d'ailleurs le reprendre à nouveau, le redissoudre dans une solution alcaline faible et le purifier à nouveau comme il vient d'être dit. Mais à chaque redissolution une partie du produit reste insoluble.

C'est en opérant dans ces conditions que Ritthausen a extrait ce qu'il a appelé la gluten-caséine, zymon de Taddei, fibrine végétale de Dumas, Cahours et Liebig, produit auquel MM. Osborne et Woorhees ont donné le nom de *gluténine*.

Je reviendrai tout à l'heure sur les propriétés de cette gluténine, mais auparavant je voudrais montrer que le produit ainsi extrait n'est pas ce qu'on pourrait appeler la gluténine vraie, que c'est tout au plus un mélange de cette dernière avec de la gliadine dont les propriétés ont été modifiées par l'emploi de réactifs trop énergiques.

Pour cela, je me reporterai d'abord aux observations publiées par Péligot[1] en 1850 dans son mémoire sur l'analyse des blés. Ce savant a remarqué que si on lave la farine de froment avec de l'éther pour enlever les matières grasses, si, ensuite, après évaporation de l'éther, on transforme la farine en pâte et qu'on malaxe cette pâte sous un courant d'eau, le gluten file entre les doigts et il est impossible d'en recueillir une parcelle. J'ai répété souvent cette expérience et elle est parfaitement exacte. Péligot en a conclu que c'est à la présence de la matière grasse que le gluten de froment doit ces propriétés qui le rendent facilement extractible. C'est là une grosse erreur puisque si on prive la farine de cette matière grasse par la benzine cristallisable, le gluten peut néanmoins être obtenu avec facilité.

L'éther joue donc un autre rôle qui est précisément de coaguler la gliadine, de lui enlever ainsi ses propriétés adhésives et de la transformer en un produit analogue à la gluténine. Si Péligot s'est trompé sur l'action de l'éther, c'est qu'alors il ne connaissait pas les

1. *Annales de Physique et de Chimie*, 3e série, 1850, t. XXIX.

propriétés si différentes de ces deux principes immédiats qui constituent le gluten.

Lorsqu'on traite le gluten divisé en petits fragments par l'alcool à 75° pour enlever la gliadine, le gluten se contracte fortement par l'action du réactif; cette contraction augmente encore la difficulté que ce produit énormément résistant possède naturellement de se laisser pénétrer par les dissolvants; cela est si vrai que même lorsqu'on emploie, comme je le fais, l'alcool rendu alcalin par la potasse, il est impossible de désagréger le gluten lorsque celui-ci a été malaxé entre les mains pour le priver de son excès d'eau, au moyen de la méthode employée par Ritthausen et les deux chimistes américains. Il est donc impossible de débarrasser complètement le gluten de sa gliadine et celle-ci reste dans le résidu.

Or, la gluténine que j'ai préparée par la méthode que j'indiquerai plus loin est très peu soluble dans les solutions aqueuses alcalines même à $0^{gr},3$ de potasse p. 100; la gliadine y est très soluble au contraire. C'est donc cette dernière qui se dissout lorsqu'on traite, comme je l'ai dit précédemment, le résidu insoluble dans l'alcool par l'eau alcaline, et c'est elle qui forme la plus grande partie du précipité obtenu par l'acide chlorhydrique. Sous l'action répétée de l'alcool absolu et de l'éther, cette gliadine va se coagulant petit à petit, modifiant peu à peu ses propriétés et donnant finalement un produit qui, à l'inverse de ce qu'il était au début, ne se gonfle plus par l'action de l'eau et reste dès lors pulvérulent comme la gluténine.

Quant à la gluténine, c'est elle qui forme cette émulsion que Ritthausen attribue à la matière grasse, que les deux chimistes américains négligent comme sédiment insoluble et qu'ils prétendent séparer par décantation.

Je dis « prétendent », parce qu'une faible partie seulement de ce produit insoluble tombe à la longue sur le fond du vase, l'autre forme avec la matière grasse en voie de saponification une émulsion si tenace qu'elle résiste à tous les agents de filtration et qu'elle ne se sépare à la bougie de magnésie qu'avec une extrême lenteur et des nettoyages répétés.

Dès 1891, j'avais été frappé de la quantité considérable de matière

que le gluten laisse insoluble en présence des solutions alcalines faibles ; j'avais alors été conduit à penser que la constitution immédiate du gluten est plus simple que Ritthausen ne l'avait indiqué et c'est à ce moment que, ayant reconnu les propriétés de la gliadine et de la gluténine, j'ai employé à la séparation de ces produits une méthode à la fois plus rapide et exempte des erreurs que je viens de signaler. Je ne parlerai pas ici de cette méthode, puisque je l'ai abandonnée et remplacée par une autre, je rappellerai seulement que c'est à son aide que j'ai préparé les gluten-fibrine et gluten-caséine dont j'ai étudié la constitution chimique.

De ce qui précède, il résulte que le composé que je désigne également sous le nom de gliadine est bien le même produit que MM. Osborne et Woorhees ont étudié, mais la substance que je désigne comme eux sous le nom de gluténine est différente de la leur, qui est formée en grande partie par de la gliadine coagulée.

Je donnerai, dans la suite de ce travail, à côté des preuves qualitatives que je viens de résumer, les preuves quantitatives qui viendront corroborer ma démonstration.

Action de la potasse alcoolique sur le gluten extrait du grain de froment. — Composition immédiate du gluten des céréales.

Au début de mes recherches, en appliquant la méthode de séparation que j'avais imaginée et à laquelle j'ai fait allusion précédemment, j'avais été conduit à filtrer, à travers une bougie Chamberland, la liqueur potassique à l'aide de laquelle j'avais essayé de dissoudre complètement le gluten. J'obéissais alors sous l'impulsion des idées émises par Ritthausen et je considérais le produit non dissous comme des impuretés mélangées : amidon entraîné, matières grasses émulsionnées surtout.

Mais, je ne tardai pas à faire successivement les trois observations suivantes qui modifièrent alors complètement mes idées et m'entraînèrent naturellement vers la méthode qui fait l'objet de ce travail et que je vais développer maintenant.

Ayant mis en une seule opération 600 gr. de gluten frais, soit

environ 200 gr. de gluten sec, en digestion avec une solution aqueuse de potasse (2 gr. par litre d'eau environ), j'abandonnai cette dissolution à elle-même pendant quinze jours environ après que la désagrégation fut complète. J'espérais obtenir ainsi une liqueur claire surnageant le dépôt insoluble. Mais il s'y fit une séparation presque nulle, si ce n'est celle d'une poudre blanche qui tomba rapidement sur le fond du flacon. Cette poudre blanche, je reconnus qu'elle était formée de grains d'amidon très fins, ce qui n'avait rien de surprenant, mais j'observai en même temps que le poids de cette poudre était d'une faiblesse telle qu'il était absolument négligeable.

Ayant ensuite, d'autre part, lavé à la benzine $1^{kg},500$ de gluten sec réduit en poudre fine par passage dans un petit moulin à noix, j'observai que la quantité de matière grasse que le gluten entraîne avec lui est excessivement faible également, $0^{gr},1$ à $0^{gr},2$ p. 100 environ.

Or, en comparant ces deux quantités additionnées — la matière grasse étant, ainsi que je l'ai observé, non pas saponifiée, mais simplement émulsionnée dans ces conditions — à la quantité considérable de matière insoluble restée à la surface interne de la bougie pendant la filtration, je dus conclure que cette matière devait être certainement formée dans sa presque totalité par de la matière azotée, que cette matière azotée devait faire partie constituante du gluten et ne devait par conséquent pas être considérée comme une impureté.

A la suite de cette dernière observation, je ne tardai pas à reconnaître que cette matière avait d'ailleurs des propriétés analogues à la matière azotée insoluble dans l'alcool, partiellement soluble dans les solutions alcalines faibles et entraînée dans la liqueur claire en même temps que la gliadine, que c'était, en un mot, de la gluténine non dissoute.

Et dès lors, je fus conduit à penser que, puisque la gluténine est ainsi peu soluble dans les alcalis faibles, qu'elle est totalement insoluble dans l'alcool même très dilué, on obtiendrait une séparation bien plus nette en faisant l'emploi d'une solution alcoolique de potasse, l'alcool devant dans ce cas insolubiliser la quantité de matière azotée que la solution aqueuse caustique a la propriété de dissoudre.

L'emploi de cette solution alcoolique m'a conduit d'abord à inaugurer une méthode qualitative d'analyse du gluten, puis une méthode quantitative sur laquelle j'insisterai tout à l'heure.

La méthode qualitative m'a aidé à isoler du gluten des farines de froment trois substances de caractères nettement définis : 1° la gliadine ; 2° la gluténine ; 3° un produit auquel j'ai donné le nom de conglutine du blé, parce qu'il se rapproche par ses propriétés de la conglutine du lupin et des amandes.

Gliadine.

Préparation et propriétés.

On peut séparer la gliadine du gluten par le procédé que nous examinerons tout à l'heure en parlant de la gluténine. Mais ce procédé, pendant la dessiccation dans le vide, la coagule toujours en partie et, dans ce cas, elle ne possède réellement ses propriétés qu'au moment de la précipitation. Aussi, pour l'obtenir pure, il est préférable d'opérer de la façon suivante :

On commence par épuiser la farine par des lavages successifs à la benzine pour entraîner la matière grasse, on abandonne ensuite la farine à l'air pour enlever par évaporation le réactif en excès ; puis, le produit est mis en digestion pendant quelques jours avec un excès d'alcool à 70°. On sépare l'alcool par filtration et on évapore la solution à sec, dans le vide, sur le chlorure de calcium. Dans ces conditions, on obtient la gliadine pure, à peine colorée en jaune clair, sous la forme de feuillets gélatineux.

La propriété la plus importante de la gliadine consiste dans la modification qu'elle subit en présence de l'eau.

MM. Osborne et Woorhees[1] disent dans leur mémoire : « Quand on traite la gliadine par l'eau distillée, elle prend une consistance gluante et une partie se dissout ; dans l'eau chaude, il s'en dissout une plus grande quantité et, dans l'eau bouillante, une grande quantité entre en dissolution. Une partie de cette gliadine dissoute se dépose par refroidissement, l'autre reste soluble. »

1. *American chemical journal*, juin 1893, p. 439.

En ce qui concerne l'action de l'eau bouillante, Günsberg avait montré que si on maintient le gluten pendant longtemps à l'ébullition, une partie se dissout, et à cette partie soluble il avait donné le nom de gliadine.

Il est, je crois, impossible d'attacher aucune importance au produit signalé par Günsberg, aussi bien qu'à l'action de l'eau bouillante, réalisée par les auteurs américains, sur la gliadine obtenue par l'action de l'alcool : il est clair que dans un cas comme dans l'autre, cette action ne va pas sans une coagulation préalable suivie probablement d'une action particulière de l'eau encore mal étudiée et je pense que le produit ultime de cette réaction n'a plus rien de commun avec la gliadine mise en expérience.

D'ailleurs, si on met un fragment de gliadine pulvérisée en contact avec de l'eau distillée froide ou maintenue à 50° environ, même avec un grand excès d'eau laissé en contact pendant plusieurs heures, on ne voit pas la gliadine disparaître et, si on filtre, les réactifs ordinaires décèlent à peine des traces de matière albuminoïde dissoute.

J'ai étudié de très près l'action de l'eau distillée et de l'eau contenant différents sels et je crois que cette action peut se résumer ainsi :

Si on prend un fragment de gliadine sèche, qu'on le pulvérise grossièrement dans un mortier et qu'on l'introduise ensuite dans un verre avec de l'eau distillée en petite quantité, on voit chaque fragment se gonfler et on obtient au bout de peu de temps une émulsion translucide dans laquelle la matière albuminoïde se maintient en suspension sans se déposer. Si on évapore cette émulsion dans le vide, on voit, lorsque la quantité d'eau a diminué d'une proportion suffisante, la masse entière se prendre en un magma gluant, transparent, analogue à la gélatine et à la colle forte gonflée par l'eau.

Si l'eau distillée est chaude, la gliadine se gonfle avec une plus grande rapidité et l'émulsion obtenue devient beaucoup plus fluide ; mais, ainsi que je l'ai dit, si on sépare par filtration une liqueur claire, on ne décèle, dans celle-ci, que des traces de matière dissoute.

Les sels alcalins et alcalino-terreux, surtout, jouent sur l'émulsion gliadineuse une influence qui éclaire, sous son vrai jour, l'action de l'eau distillée.

L'expérience suivante est très intéressante à ce sujet : dans un petit mortier de verre, on broie un fragment de gliadine d'abord à sec, puis avec une quantité d'eau distillée suffisante pour en faire une émulsion fluide, on abandonne la masse pendant un quart d'heure environ pour donner à chaque grain le temps de s'hydrater complètement. Dans ces conditions, l'émulsion se maintient sans séparation. On ajoute alors une goutte d'une solution de chlorure de calcium cristallisé à 5 p. 100, on agite et on laisse en repos. Presque instantanément, on voit alors chaque grain gonflé se souder à son voisin et le produit tout entier se séparer rapidement de la solution, suer pour ainsi dire l'excès d'eau dont il était imprégné et tomber rapidement au fond du mortier sous la forme d'une masse d'une consistance de miel.

Le chlorure de sodium, le chlorure de potassium agissent de même, avec moins de rapidité.

De ces faits, on doit conclure que l'action de l'eau distillée sur la gliadine est une action tout à fait comparable à celle observée par M. Schlœsing sur l'argile, compliquée d'une transformation préalable analogue à celle que subit le caoutchouc naturel dans la benzine. Comme celui-ci, la matière est gonflée en fixant une certaine quantité d'eau et, ainsi transformée, se maintient en suspension dans la liqueur exempte de matière minérale. Mais qu'on y ajoute une trace de sel alcalino-terreux ou alcalin, et immédiatement la propriété émulsive est détruite, la gliadine se précipite en se soudant sur elle-même.

Il est facile de se convaincre qu'il n'y a pas ici de double décomposition comme dans le cas de l'action des sels de chaux sur la légumine : une trace de chlorure de calcium provoque la séparation d'une masse énorme de gliadine comparée au poids du sel mis en œuvre. L'action des sels de chaux est tellement énergique que quelques milligrammes de chlorure de calcium, dissous dans l'eau, provoquent du jour au lendemain la précipitation de 5 à 6 décigrammes de gliadine tenue en dissolution par de l'alcool à 40-50° et contenant du bicarbonate de potasse qui augmente encore l'action dissolvante de la liqueur spiritueuse.

Les réactions précédentes expliquent encore pourquoi l'eau dis-

tillée, ajoutée en grand excès à une solution alcoolique de gliadine, n'en trouble pas la limpidité, tandis que l'eau ordinaire y provoque immédiatement un louche qui se traduit au bout de quelque temps par un abondant précipité.

De ce qui précède je tirerai, tout à l'heure, des conclusions encore plus intéressantes au point de vue pratique.

Ainsi, la gliadine est insoluble dans l'eau distillée et dans l'eau contenant même en petite quantité des principes salins. Elle est insoluble également dans l'alcool absolu, mais elle est très soluble dans l'alcool dilué, et c'est dans l'alcool à 70° qu'existe son maximum de solubilité. Dans une telle dissolution, une addition d'alcool fort provoque un commencement de précipitation de même qu'une addition d'eau ; mais, dans ce dernier cas, la quantité d'eau ajoutée doit être beaucoup plus grande que dans le cas de l'alcool.

La gliadine est insoluble dans l'éther, qui en modifie rapidement les propriétés en la coagulant et en diminuant ainsi progressivement sa solubilité dans les liqueurs alcooliques.

Les acides chlorhydrique, sulfurique et acétique étendus, au point de vue de la solubilité, se comportent d'une façon variable sur la gliadine. Les deux premiers n'en dissolvent que des traces, mais l'acide acétique la dissout en très grande partie et elle se reprécipite, sans altération de cette solution, après neutralisation au moyen d'un alcali.

Conglutine et gluténine.

Préparation et propriétés.

Pour isoler des farines de froment la conglutine et la gluténine, on commence d'abord par désagréger le gluten obtenu au moyen d'une solution alcaline. Pour cela, on introduit dans un flacon à col droit, bouchant à l'émeri, 200 gr. de gluten frais divisé en fragments de la grosseur d'un pois, avec un litre de solution contenant 3 gr. de potasse caustique. On agite aussi fréquemment que possible et lorsque toute cohérence dans les fragments a disparu, on ajoute assez d'alcool, en quantité calculée à l'avance, pour porter la liqueur à 70°.

On peut alors déceler la présence de la conglutine en opérant de la façon suivante :

La liqueur alcoolique tient en suspension la gluténine insoluble dont une partie tend à se séparer, mais dont une autre partie est maintenue en suspension par une petite quantité de matière grasse émulsionnée. Si on détruit cette émulsion en faisant passer dans la masse un courant d'acide carbonique en excès, immédiatement la gluténine se sépare entièrement en abandonnant une liqueur claire qui tient en dissolution la conglutine et la gliadine. Si on sature incomplètement cette liqueur par l'acide sulfurique dilué, si on ajoute ensuite assez d'eau pour redissoudre le sulfate de potasse précipité — l'alcool marque alors 50-55° — on voit se former un léger précipité qui, au bout d'un certain temps, tombe sur le fond du vase. Ce précipité constitue le produit que je désigne sous le nom de conglutine du blé.

Mais la conglutine constitue une très faible partie du gluten des farines de froment ; aussi, pour l'isoler, est-il préférable d'opérer de la façon suivante : la liqueur alcoolique alcaline est traitée par l'acide sulfurique en léger excès pour précipiter la gluténine et la conglutine en même temps. On sépare le précipité par décantation et on le lave complètement avec de l'alcool à 70° très légèrement acide. On le broie ensuite dans un mortier avec une solution alcoolique à 70°, contenant $\frac{3}{1000}$ de potasse caustique, on laisse en contact pendant quelque temps, on fait passer un courant d'acide carbonique en excès et on abandonne au repos. La gluténine se sépare, on filtre et on met de côté la liqueur filtrée.

Celle-ci est saturée par l'acide sulfurique dilué et additionnée d'eau jusqu'à précipitation complète ; le précipité séparé, lavé, séché dans le vide constitue la conglutine.

Quant à la gluténine, on l'obtient pure en la lavant à l'alcool à 70° d'abord, puis à l'eau et en la soumettant également à la dessiccation dans le vide.

Conglutine. — Les propriétés principales de la conglutine sont les suivantes : elle se présente en minces feuillets, d'apparence géla-

tineuse, se transformant, au contact de l'eau, en une masse opaque blanche, assez cohésive, mais à peine gonflée ; elle est soluble dans l'eau tenant en dissolution soit des alcalis caustiques, soit des phosphates basiques, soit des carbonates ou des bicarbonates alcalins; elle est soluble aussi dans l'alcool à 70° rendu alcalin par la potasse et se précipite de cette dissolution avant la saturation complète par l'acide sulfurique dilué.

Ce produit existe en très faible quantité dans les farines de blé ; aussi, pour l'isoler, faut-il opérer sur une grande masse de gluten. Dans une opération qui a consisté à traiter 600 gr. de gluten frais, soit 200 gr. environ de gluten sec, j'en ai isolé 3gr,800, ce qui porte à 1.9 p. 100 la quantité de conglutine, soit environ 0.2 p. 100 de la farine.

L'échantillon ainsi isolé contenait 14.80 p. 100 d'azote.

Dans une autre opération, je n'ai obtenu que 0.98 p. 100 de conglutine, soit 0.1 p. 100 environ de la farine.

Gluténine. — La gluténine se présente en fragments opaques formés de particules agglomérées, peu cohérentes et par conséquent très friables. Pulvérisée, elle forme une poudre blanche que l'eau ne modifie en aucune façon. Elle est insoluble dans l'alcool contenant ou non de la potasse ou de la soude caustique en faible quantité. L'eau alcalinisée la dissout en petite quantité qui se reprécipite par l'addition d'un acide faible.

La gluténine séchée dans le vide sur le chlorure de calcium est à peu près insoluble dans les acides sulfurique et chlorhydrique étendus; elle se dissout en très faible proportion dans l'acide acétique dilué. Ce dernier acide ne saurait donc intervenir en aucun cas au dosage du gluten dans les farines ; il ne peut donner, dans cette voie, que des résultats erronés.

Composition immédiate du gluten des céréales.

De ce qui précède, il résulte que la gliadine et la gluténine forment les 98 centièmes au moins du gluten qu'on peut isoler des farines de froment. Si, négligeant la conglutine, qui ne peut avoir

qu'une très légère influence sur les propriétés de ce gluten, on admet, comme je le montrerai tout à l'heure, que celui qu'on peut isoler des bonnes farines du commerce contient

Gluténine.	18 à 34 p. 100.
Gliadine	82 à 66 —

il est facile de se rendre compte de l'action qu'exerce, sur l'extractibilité de ce produit, chacun des éléments qui le constituent.

C'est à la gliadine que reviennent les propriétés agglutinatives : sous l'action de l'eau, soit contenant préalablement des matières salines, soit se chargeant des sels solubles contenus dans la farine, cette gliadine se transforme en une masse molle que les particules de gluténine pulvérulente, jouant ici le rôle de matière inerte, empêchent de filer entre les doigts : telle est la raison pour laquelle les farines de froment, transformées en pâte qu'on lave sous un filet d'eau, abandonnent finalement, par séparation de l'amidon, cette masse plus ou moins élastique qui constitue le gluten.

Mais cette propriété appartient seule au grain de froment, et j'ai pensé que si mon raisonnement était vrai, un des éléments, gliadine ou gluténine, devait manquer à la constitution du gluten des autres céréales : seigle, maïs, riz, orge, sarrasin, qui, on le sait, est inextractible dans les mêmes conditions.

Pour vérifier cette hypothèse, j'ai dosé d'abord le gluten sur 5 gr. des farines extraites des céréales précédentes, après lavage à la benzine, à l'eau et après saccharification de l'amidon par la diastase. Cette méthode, sans être d'une précision absolue, donne cependant des résultats suffisamment rapprochés de la vérité.

En passant, je dirai qu'en même temps j'ai observé, dans la farine de maïs, la présence d'une quantité de légumine égale à 0.54 p. 100, et dans la farine de sarrasin, $0^{gr},16$ p. 100 de la même substance azotée.

Cela fait, 10 gr. de chaque farine ont été lavés successivement à la benzine, à l'eau et, après dessiccation à 30-35°, mis en contact avec 250 centimètres cubes de potasse dissoute à raison de 3 gr. par litre dans l'alcool à 70°. Le contact a été maintenu pendant dix jours en agitant fréquemment. Puis 100 centimètres cubes de la liqueur claire

ont été traités par l'acide carbonique en excès, évaporés presque à sec au-dessus de 40°, repris par l'eau et la gliadine a été précipitée par l'acide sulfurique dilué. On a pesé, après lavage, le précipité desséché sur un filtre taré et on a calculé la quantité obtenue rapportée à 100 de gluten. On en a ainsi déduit les chiffres suivants :

	GLUTEN p. 100 de farine.	GLIADINE p. 100 de gluten.	GLUTÉNINE p. 100 de gluten.
Seigle	8.26	8.17	92.83
Maïs.	10.63	47.50	52.50
Riz	7.86	14.31	85.70
Orge.	13.82	15.60	84.40
Sarrasin	7.26	13.08	86.92

Ce tab'eau montre que si, dans la farine de maïs, la quantité de gliadine — zéine de Ritthausen — est encore assez élevée, cette substance existe en proportion très faible dans les farines des autres céréales soumises à l'analyse ; dans ces farines, la matière inerte, sous forme de gluténine, est donc en excès par rapport à la matière agglutinative et, suivant mon hypothèse, c'est bien à la diminution de la proportion de gliadine qu'est due l'impossibilité d'extraction du gluten dans les cas que je viens d'examiner.

Il est donc maintenant certain que pour qu'un gluten soit extractible, il doit exister un rapport minimum et maximum entre les quantités de gliadine et de gluténine qu'il peut contenir ; lorsque ce rapport n'existe plus, soit qu'il y ait un excès de gliadine, soit un excès de gluténine, le gluten fuit entre les doigts sous le courant d'eau et ne peut plus se recueillir.

Les propriétés de la gliadine, et notamment la façon dont elle se comporte sous l'action des eaux légèrement salines, permettent d'expliquer les phénomènes qui se passent lorsqu'on cherche à extraire le gluten de certaines farines de froment, phénomènes observés par Ritthausen, qui n'en a pas donné la raison.

En général, la quantité de matières minérales alcalines et alcalino-terreuses, solubles, que contiennent les farines, est suffisante pour précipiter la gliadine et c'est ce qui explique pourquoi on peut obtenir généralement le gluten par l'emploi de l'eau distillée. Mais, dans

certains cas, lorsqu'il y a diminution des matières minérales ou excès de gliadine, l'action de l'eau distillée laisse entre les mains fort peu de gluten, tandis que cette quantité augmente considérablement lorsque le malaxage se fait en employant de l'eau saturée de sulfate de chaux ou contenant du chlorure de calcium, sels qui donnent à la gliadine la force agglutinative qui lui manque dans ce cas.

J'ai rencontré cependant un échantillon de farine dont, malgré tous les artifices employés, il m'a été impossible d'extraire complètement le gluten. C'était une farine de blé dur, de qualité tout à fait supérieure ; en général, ces farines contiennent, au minimum, 79 p. 100 de leur gluten formé par la gliadine. Or, celle-ci, malgré toutes les précautions et tous les tours de main employés, m'a donné chaque fois un gluten collant aux doigts et fuyant entre les mains dès le début du lavage et dont la quantité, variable à chaque opération, oscillait entre 9 et 11 p. 100. En employant le moyen que j'ai indiqué précédemment pour les farines de seigle, maïs, etc., je trouvai enfin pour cette farine les résultats suivants :

Gluten p. 100 de farine	12.5
Gliadine p. 100 de gluten.	91.2
Gluténine p. 100 de gluten	8.8

Cette analyse montre bien l'influence que peut exercer dans un dosage l'excès de gliadine qu'une farine peut contenir et il faut en conclure que, pour se placer à l'avance à l'abri de toutes les causes d'erreur, il convient de faire le pâton qui servira à l'extraction du gluten avec de l'eau distillée, mais qu'il faudra toujours le laver avec de l'eau ordinaire, riche en matières minérales et surtout en sels de chaux (un décigramme par litre environ).

II. — MÉTHODE CHIMIQUE D'APPRÉCIATION DE LA VALEUR BOULANGÈRE DES FARINES DE FROMENT

Les observations précédentes, relatives aux propriétés de la gliadine et de la gluténine, étant faites, j'ai pensé qu'on pouvait leur donner une sanction pratique. Certains faits, relatifs, soit à la façon dont se comportent les farines pendant l'extraction du gluten ou

pendant la panification, soit aux différences de propriétés physiques que peuvent présenter les glutens extraits, sont venus également me diriger dans la voie que je vais maintenant essayer de tracer.

Tous les glutens qu'on peut extraire des différentes farines de blés tendres ou de blés durs peuvent présenter entre eux des caractères très différents et j'ai remarqué qu'ils doivent être classés dans trois catégories distinctes : 1° glutens éminemment élastiques, dont on élimine facilement l'excès d'eau par compression dans les mains et s'affaissant très peu pendant la dessiccation à l'étuve ; 2° glutens plus secs et plus cassants que les précédents, d'une dessiccation facile, entre les mains d'abord et à l'étuve ensuite ; 3° glutens très tendres, s'allongeant facilement, mais très peu élastiques, s'attachant à la peau dès le début de la dessiccation entre les mains, coulant et prenant, à l'étuve, la forme des vases dans lesquels on les maintient.

Ces différences de propriétés physiques, il est bien évident qu'il faut les attribuer à la différence des proportions de gliadine et de gluténine qu'ils contiennent et, *à priori*, il est facile de prévoir que ceux de la première classe contiennent des quantités favorables de l'une et de l'autre, que ceux de la deuxième contiennent un excès de gluténine, que ceux de la troisième enfin contiennent un excès de gliadine.

Voilà pour les glutens.

En faisant l'extraction du gluten de presque toutes les farines, mais surtout des farines des blés très tendres, il est facile de réaliser l'expérience suivante. Le pâton étant fait avec de l'eau distillée, on emploie pour le malaxage de l'eau ordinaire portée à la température de 25° environ et on commence ce malaxage très lentement, en faisant couler l'eau goutte à goutte de façon que le produit se maintienne à peu près, tout entier, à la température de la main. Dans ces conditions, on peut conduire l'extraction pendant un certain temps ; mais vers les deux tiers environ de l'opération, toute la masse a pris une fluidité remarquable et menace de filer rapidement ; si alors on ouvre le robinet de façon à abaisser rapidement, par une affusion d'eau, la température à 25° environ, immédiatement le gluten se contracte, prend de la solidité et l'extraction peut être conduite à bonne fin.

L'explication de ce phénomène est simple et repose sur les propriétés de la gliadine que j'ai exposées précédemment : la gliadine, en effet, prend, sous l'action de l'eau, une fluidité d'autant plus grande que cette eau est plus chaude, cette propriété s'exagère encore au moment de l'extraction, lorsque la gliadine est pour ainsi dire à l'état naissant et, dans ces conditions, une température de 35° suffit pour porter cette fluidité à un degré tel qu'il y a danger de perdre le gluten que l'on veut extraire.

Cela explique encore pourquoi, lorsqu'on examine les farines de qualité inférieure, farines bises et autres, extraites des parties voisines du son, riches en débris d'enveloppes, on est obligé, pour séparer le gluten, d'employer de l'eau portée à une température de 40 à 45°. C'est qu'en effet, et je le montrerai plus loin, ces farines contiennent un excès de gluténine et il est nécessaire de fluidifier la gliadine pour en augmenter dès lors les propriétés agglutinatives : l'eau tiède, ainsi qu'on le voit, est tout indiquée dans ce cas.

Enfin, on sait qu'aux farines de froment seules est due la propriété de donner des pains bien levés, spongieux, propriété précisément corrélative de la composition immédiate du gluten qu'on peut en extraire ; les farines des autres céréales, au contraire, dont le gluten est inextractible, donnent des pains gras et lourds, compacts et indigestes. Dans ce cas, c'est encore à la composition du gluten qu'il faut attribuer cette différence, et nous savons maintenant que ce gluten, en effet, ne contient qu'une minime proportion du principe agglutinatif.

Voilà pour les farines.

Donc, dans un cas comme dans l'autre, c'est à la constitution immédiate du gluten qu'il faut attribuer, soit la tenue de ce gluten lui-même, soit les différences que les farines présentent à la panification.

Quelles sont, dès lors, les proportions dans lesquelles le gluten doit renfermer la gliadine et la gluténine, pour que ses propriétés soient les plus favorables ? C'est ce qu'il me reste à établir et ce que je vais maintenant exposer.

Pour arriver à résoudre la question ainsi posée, il était nécessaire de créer une méthode rigoureuse de dosage de la gliadine et de la gluténine et cela m'a été rendu facile par l'examen des propriétés

de chacune de ces substances, propriétés que j'ai indiquées précédemment. Bien entendu, dans cet examen, je n'ai pas cru devoir tenir compte de la présence de la conglutine ; celle-ci, en effet, existe dans des proportions trop faibles pour qu'elle puisse jouer un rôle important dans la constitution du gluten des farines de blé et elle a toujours été pesée en même temps que la gliadine.

Cela étant, pour établir la composition immédiate centésimale du gluten d'une farine de froment, on opère de la manière suivante :

On prépare d'abord de l'alcool à 70° dans lequel on dissout une quantité de potasse caustique équivalente à 3 gr.-3^{gr},5 de potasse vraie (KOH) par litre. On prend le titre exact de cette solution au moyen de l'acide sulfurique décinormal et on calcule ce titre en carbonate de potasse.

Cela fait, on extrait, à la façon ordinaire, le gluten de 33^{gr},33 de la farine à examiner et on s'arrête, dans cette extraction, un peu avant la fin, lorsque la masse n'est pas encore complètement agglomérée sur elle-même et reste divisée par une petite quantité d'amidon, ce qui favorise de beaucoup l'opération de la désagrégation.

On place le gluten ainsi obtenu dans un mortier, on le recouvre de la solution alcoolique potassique précédente et on triture doucement pendant quelques minutes de façon à commencer l'imprégnation de la masse élastique par la liqueur caustique. On décante ensuite le liquide en excès dans un flacon de 200 centimètres cubes environ, à large ouverture et bouchant à l'émeri ; on pilonne alors énergiquement le gluten resté dans le mortier et on en complète ainsi la pénétration par la solution alcoolique de potasse. On verse dans le flacon la masse qui commence à se désagréger et on la recouvre de la même liqueur alcaline. On s'arrange de façon à employer en tout 80 centimètres cubes de cette liqueur. Puis on lave le mortier avec de l'alcool à 70° sans potasse, on verse le liquide de lavage dans le flacon, on ajoute des perles ou des fragments de verre, on bouche et on agite vivement aussi longtemps et aussi fréquemment que possible.

Dans ces conditions, sous l'action des chocs répétés, on voit la désagrégation du gluten s'opérer rapidement et, en agitant de temps en temps, elle est bientôt complètement terminée.

La quantité de potasse dissoute dans l'alcool est calculée de telle façon qu'elle n'exerce, même après un temps très long, aucune réaction sensible d'hydratation sur la matière albuminoïde. Aussi, si on a plusieurs analyses de gluten à conduire de front, je conseille de les mettre en train dans la journée, en les agitant vivement de temps en temps et de les abandonner jusqu'au lendemain, on trouvera alors la désagrégation complètement terminée. Dans tous les cas, il faut tenir compte que, plus la trituration au mortier est convenablement faite, plus la désagrégation est rapide; on peut même, si on est pressé, terminer cette opération en un quart d'heure environ, en continuant l'action du pilonnage.

Quoi qu'il en soit, dans le flacon, on trouve finalement un liquide opaque tenant en suspension la gluténine pulvérulente et en dissolution la gliadine. On y fait alors passer, jusqu'à refus, un courant d'acide carbonique qui, saturant la potasse, aide à la séparation de la gluténine légèrement émulsionnée.

On décante alors le liquide, à travers un entonnoir qui retient les perles ou fragments de verre, dans une fiole jaugée de 150 centimètres cubes (ou de 200 centimètres cubes), on lave le flacon et l'entonnoir avec de l'alcool à 70° sans potasse et on complète jusqu'au trait de jauge.

Cela fait, on filtre pour séparer la gluténine et on prélève 50 centimètres cubes de la liqueur filtrée qu'on évapore à sec en terminant la dessiccation à 105°. On emploie pour cela une fiole tarée, à fond plat, bouchant à l'émeri.

On peut ainsi peser l'extrait obtenu qui représente la gliadine contenue dans 50 centimètres cubes de liquide, plus une certaine quantité de carbonate de potasse.

En appelant A la quantité de carbonate de potasse contenue dans un centimètre cube de la liqueur alcoolique primitive, il est facile de voir que la quantité à retrancher pour 50 centimètres cubes de la liqueur complétée à 150 par exemple, sera donnée par le calcul suivant :

$$\frac{A \times 80 \times 50}{150}.$$

En retranchant donc le chiffre obtenu par ce calcul du poids de

l'extrait, on obtient la quantité de gliadine contenue dans 50 centimètres cubes et, en multipliant ce chiffre par 9, on a la quantité de gliadine renfermée dans 100 de farine.

Si on a eu soin de calculer, par une détermination préalable, la quantité de gluten p. 100 que la farine contient, on peut, par différence, connaître ainsi la proportion de gluténine.

On peut dès lors rapporter les deux quantités de gliadine et de gluténine à 100 de gluten.

Ainsi dans une farine la quantité de gluten p. 100 a été trouvée égale à 7.47. L'analyse a montré que ce gluten est constitué par

Gluténine.	1.85
Gliadine	5.62

ce qui donne pour la composition en centièmes du gluten :

Gluténine	24.75
Gliadine.	75.25

C'est à l'aide de la méthode précédente que j'ai analysé les farines dont la composition du gluten est indiquée ci-dessous :

	GLUTEN p. 100 de farine.	GLUTÉNINE p. 100 de gluten.	GLIADINE p. 100 de gluten.
1	11.93	24.22	75.78
2	7.46	28.30	71.70
3	9.87	24.90	75.10
4	7.56	24.40	75.60
5	12.09	33.20	66.80
6	7.44	17.80	82.20

Les chiffres précédents, choisis parmi les nombreux que j'ai obtenus, montrent bien la variation de la composition des farines en gluten et la variation de la composition de ce gluten. Les numéros 5 et 6 indiquent à peu près entre quelles limites extrêmes peut s'étendre la composition des farines de blés tendres mises en vente sur le marché.

La méthode que je viens de développer étant ainsi édifiée, j'ai recherché quelle pouvait être la relation existant entre la com-

position du gluten ainsi déterminée et les qualités que la farine contenant ce gluten peut présenter à la panification. Pour cela, j'ai eu recours aux connaissances spéciales de M. Lucas, directeur du Laboratoire d'essais des farines à la Bourse du commerce, et après de nombreux essais comparatifs ayant pour but d'élucider les effets produits, pendant la fermentation et la cuisson, par des farines contenant des quantités paraissant normales puis exagérées de gluténine et de gliadine, j'ai pu poser les règles suivantes :

1° Quelle que soit la quantité de gluten contenue dans une farine, celle-ci fournira un pain d'autant meilleur au point de vue de son développement et par conséquent de sa facile digestion que son gluten se rapprochera plus de la composition centésimale suivante : gluténine, 25 ; gliadine, 75 ;

2° Le pain fait avec une farine dans laquelle la quantité de gluténine atteint 20 et la quantité de gliadine 80 p. 100 du gluten total se développe bien à la fermentation, mais s'aplatit et redevient compact pendant la cuisson, la gliadine se fluidifiant par l'action de la chaleur avant la coagulation ; de plus, pour une telle farine, la quantité d'eau qu'on emploie normalement pour le travail est toujours trop élevée et doit être diminuée par conséquent si on ne veut pas avoir une pâte trop fluide, collant aux doigts et se travaillant avec difficulté ;

3° Lorsque le gluten d'une farine atteint la composition centésimale : gluténine 34, gliadine 66, la farine s'hydrate plus difficilement, la pâte obtenue est sèche, peu liée et ne se développe ni à la fermentation, ni à la cuisson, le pain reste compact et indigeste. De plus, si, dans une telle farine, la quantité du gluten est assez élevée, 10 à 12 p. 100, le pétrissage ne se fait pas sans augmenter dans de grandes proportions le labeur de l'ouvrier ;

4° Si l'on admet comme type le pain fait avec la farine dont le gluten présente la composition centésimale indiquée en 1°, le pain fait avec une farine dont le gluten s'écarte de 2 p. 100 au-dessus ou au-dessous de cette composition présente des différences qu'un expert peut facilement et nettement apprécier.

Les premiers essais que j'ai faits à l'aide de cette méthode remontent à 1895 ; depuis cette époque, j'ai eu l'occasion de les répéter

maintes et maintes fois et jamais cette méthode n'a été trouvée en défaut. Aussi, je propose d'établir la valeur boulangère des farines en prenant comme terme de composition le rapport

$$\frac{\text{Gluténine}}{\text{Gliadine}} = \frac{25}{75}$$

et de calculer dans tous les cas le rapport en laissant le numérateur constant et égal à 25. Si on admet comme le plus favorable le rapport $\frac{25}{75}$, il est facile de calculer que les glutens indiqués en 2° et 3° donneront les fractions $\frac{25}{100}$ et $\frac{25}{48}$, qui indiquent dès lors entre quelles limites extrêmes peuvent se trouver enfermées les farines courantes du commerce tirées entre 50 et 70 p. 100 d'extraction.

Apprécier la valeur boulangère d'une farine de blé au moyen de cette méthode, c'est déterminer le rapport $\frac{\text{gluténine}}{\text{gliadine}}$ et voir de combien il diffère du rapport favorable $\frac{25}{75}$; la farine présentera des qualités d'autant plus faibles qu'elle s'éloignera davantage, en dessus ou en dessous, du rapport que je viens d'indiquer.

Cette méthode, bien entendu, ne devra être appliquée qu'aux farines normales, capables de donner des pains blancs ou à peine colorés. Dans les autres cas, farines bises, farines auxquelles on a ajouté intentionnellement des débris de l'enveloppe, le rapport $\frac{\text{gluténine}}{\text{gliadine}}$ n'indiquerait plus rien de précis, les particules de son et de germe, ainsi que MM. Mège-Mouriès et Aimé Girard l'ont montré, apportant avec elles des produits, diastases et autres, qui viennent jouer un rôle spécial tout à fait indépendant de celui du gluten.

Influence de la quantité de gluten et de sa composition centésimale sur le rendement en pain d'une farine.

On sait que 100 kilogr. de diverses farines peuvent rendre des quantités variables de pain suivant la quantité d'eau qu'elles peuvent

retenir après la cuisson : en général, on sait que cette quantité est d'autant plus grande que les produits panifiés sont de qualité plus inférieure et contiennent plus de matière azotée. J'ai voulu voir quelle pouvait être l'influence jouée par le gluten et par ses composants sur la quantité d'eau qu'une farine peut fixer définitivement et, parmi les essais que j'ai faits, je choisirai les deux suivants.

Trois échantillons ont été analysés, panifiés dans les mêmes conditions et on a dosé l'humidité du pain. On a obtenu les résultats suivants :

	GLUTEN p. 100 de farine.	COMPOSITION centésimale du gluten.		HUMIDITÉ du pain obtenu.
Échantillon n° 1 . .	7.57	Gluténine .	24.40	32 p. 100
		Gliadine . .	75.60	
— n° 2 . .	12.09	Gluténine .	29.78	39 —
		Gliadine . .	70.22	
— n° 3 . .	12.61	Gluténine .	33.20	38.5 —
		Gliadine . .	66.80	

Cinq autres échantillons de farines diverses ont été, une autre fois, analysés, panifiés dans des conditions identiques et on a, comme précédemment, dosé l'humidité des pains obtenus. On a obtenu les chiffres suivants :

	GLUTEN p. 100 de farine.	COMPOSITION centésimale du gluten.		HUMIDITÉ du pain obtenu.
Échantillon n° 1 . .	7.5	Gluténine .	25.30	34 p. 100
		Gliadine . .	74.70	
— n° 2 . .	7.15	Gluténine .	22.70	35 —
		Gliadine . .	77.30	
— n° 3 . .	7.44	Gluténine .	17.80	34 —
		Gliadine . .	82.20	
— n° 4 . .	7.80	Gluténine .	34.20	34 —
		Gliadine . .	65.80	
— n° 5 . .	12.10	Gluténine .	33.67	38.5 —
		Gliadine . .	66.30	

Les résultats qui se dégagent des deux tableaux précédents sont très explicites : ils montrent que, seule, la proportion de gluten qu'une farine contient influe sur la quantité d'eau qu'elle peut retenir après la panification ; les proportions des deux composants, gliadine et gluténine, sont sans influence sur cette fixation et par consé-

quent, dans les mêmes conditions, ces deux produits fixent, pour cent, une égale quantité d'humidité.

Ce dernier résultat était d'ailleurs à prévoir, car j'ai montré, dans une étude précédente[1], que les trois produits, gluten, gliadine et gluténine, ont une constitution chimique identique.

III. — SUR LA NATURE DES MATIÈRES AZOTÉES CONTENUES DANS LES FARINES DES GRAINES DE LÉGUMINEUSES

Dans un précédent travail[2], en analysant les conclusions tirées par M. Bleunard relativement à la constitution moléculaire de la légumine, j'ai montré comment l'action de l'hydrate de baryte, en vase clos, faisait prévoir, dans les farines de légumineuses, l'existence de matières albuminoïdes pouvant être rangées à côté du gluten et de ses congénères.

J'ai été ainsi conduit à essayer de séparer ces diverses matières azotées et je me suis adressé pour cela à la farine de féveroles parce qu'elle joue dans certaines contrées, et notamment dans le nord de la France, un rôle correctif à la qualité boulangère des farines, rôle consacré par la pratique et dont j'ai voulu en même temps chercher l'explication.

J'ai opéré la séparation des matières azotées contenues dans un échantillon commercial de farine de féveroles en opérant de la manière suivante :

Deux échantillons de farine, de poids connu (10 gr.), ont été séparément lavés à la benzine cristallisable pour enlever les matières grasses ; après évaporation de la benzine en excès, on les a lavés complètement à l'eau distillée pour dissoudre les matières azotées solubles. Le produit resté sur le filtre, dans un cas, a été porté à l'ébullition avec de l'eau, puis saccharifié par la diastase et a laissé insoluble une matière azotée, analogue au gluten, qu'on a pesée avec toutes les précautions voulues. Dans l'autre cas, le produit lavé a été desséché à 30-35°, mis en contact avec 250 centimètres cubes de potasse

1. *Thèse de doctorat.*
2. *Thèse de doctorat*, p. 40 et suivantes.

alcoolique (alcool à 70° = 1 000 centimètres cubes ; KOH = 3 gr.) pendant 10 jours et on en a séparé la partie soluble (gliadine), comme je l'ai indiqué dans le cas des farines céréales dont le gluten est inextractible par malaxage. Cette gliadine a été desséchée et pesée.

De la solution des matières azotées solubles dans l'eau on a isolé la légumine par précipitation au moyen de l'acide acétique, puis l'albumine végétale par ébullition de la liqueur filtrée. Ces deux produits ont été pesés séparément après dessiccation.

On a obtenu ainsi tous les éléments nécessaires à l'établissement du tableau suivant qui indique bien la nature des matières azotées qui accompagnent la légumine et l'albumine végétale dans les farines de légumineuses.

Matières grasses. . . . 11.11 p. 100 de farine.

Composition des matières azotées totales : 31.04 p. 100.

Légumine.	18.92
Albumine végétale	0.20
Gluten.	11.92
Total	31.04

Composition du gluten : 11.92 p. 100.

Gluténine.	9.52
Gliadine	2.40
Total	11.92

Si on range, ainsi qu'on le doit, la légumine et la gluténine dans la catégorie des caséines végétales, la constitution des matières azotées, rapportées à 100, devient ainsi :

Caséine végétale.	Légumine	60.95	91.62
	Gluténine	30.67	
Fibrine végétale .	Albumine	0.64	8.42
	Gliadine.	7.78	

La légumine, en effet, se précipite en présence d'une légère acidité, sous la forme d'une matière pulvérulente, et le tableau précédent montre ainsi que la farine de féverole peut être envisagée

comme une farine de céréale excessivement riche en matière azotée, cette matière étant constituée presque entièrement par un produit inerte formé de légumine et de gluténine.

Or, on sait que l'addition de farine de féverole est tolérée dans les proportions de 2 à 3 p. 100 pour donner du corps à certaines farines de blé qui, suivant l'expression technique, relâchent beaucoup pendant le pétrissage et la fermentation et qui seules ne fourniraient que des pains plats et mal levés. Dans la région du Nord, cette addition est fréquente et il est facile, d'après ce que j'ai dit précédemment, de montrer le rôle que joue l'introduction de ce nouvel élément.

Les farines qui, à la panification, présentent généralement l'inconvénient de donner une pâte très fluide, sont des farines contenant 7 à 8 p. 100 de gluten, celui-ci ayant à peu près la composition suivante :

Gluténine	22 à 18
Gliadine.	78 à 82

riche par conséquent en gliadine. Supposons qu'à une farine ayant la composition suivante :

Gluten . . .	7.5 p. 100.	Gluténine	20 p. 100
		Gliadine	80 —

on ajoute 2 p. 100 d'abord de farine de féverole ayant la composition

Matière azotée.	30 p. 100.	Gluténine	92 p. 100
		Gliadine	8 —

Un calcul simple montre qu'après l'addition, le produit résultant donnera à l'analyse :

Matière azotée. . . .	$7.5 + 0.6 = 8.1$

formée de

Gluténine	$1.50 + 0.55 = 2.05$
Gliadine.	$6.00 + 0.05 = 6.05$

soit

Gluten. . .	8.1	Gluténine	25.30 p. 100
		Gliadine.	74.70 —

Une addition de 3 p. 100 de farine de féverole à une farine de composition :

Gluten. . . .	7.5	Gluténine.	82 p. 100
		Gliadine	18 —

donnera finalement un produit qui contiendra

Gluten. . . .	8.4	Gluténine	25.90 p. 100
		Gliadine.	74.10 —

L'acidité des farines de froment, acidité qui augmente pendant la fermentation panaire, ayant pour effet de précipiter la légumine, on voit, par le calcul précédent, que l'introduction de la farine de féverole dans les produits riches en gliadine a pour effet : 1° d'augmenter la proportion de matière azotée ; 2° de ramener le rapport $\frac{\text{gluténine}}{\text{gliadine}}$ aussi près que possible de $\frac{25}{75}$, c'est-à-dire du point le plus favorable à la bonne tenue de la pâte pendant la fermentation et pendant la cuisson.

Ainsi se trouve vérifié théoriquement l'emploi de la farine de féverole dont on connaissait les effets, sans que, jusqu'ici, la cause en ait été déterminée et expliquée.

Un calcul simple, effectué de la même façon, montre que l'addition de 8 à 12 p. 100 de farine de riz, dont le gluten est formé presque exclusivement par de la gluténine, joue, vis-à-vis de certaines farines, le même rôle correctif que la farine de légumineuses.

IV. — RÉPARTITION DU GLUTEN ET DE SES PRINCIPES IMMÉDIATS DANS LES DIFFÉRENTES PARTIES DU GRAIN DE FROMENT

Le principe général sur lequel est établi le fonctionnement des engins modernes de mouture repose sur la division de l'amande du grain en un certain nombre de parties dont la situation se déplace progressivement en allant du centre à la périphérie, c'est-à-dire en se rapprochant de plus en plus de la face interne de l'enveloppe ou du son. A cette division primitive, on affecte un nombre variable de machines, 5 à 7, désignées sous le nom de broyeurs à cylindres,

construites les unes par rapport aux autres d'une façon identique. Chacun de ces broyeurs, après l'opération, donne un produit qu'on peut séparer par le blutage en gruaux et en farine. On peut se demander si chacune des portions ainsi séparées par les opérations de broyage a, au point de vue des matières azotées insolubles qui nous occupent, la même composition ou, en d'autres termes, si l'amande farineuse du grain de froment a une structure identique dans son ensemble ou bien si elle est formée par une superposition de zones concentriques ayant chacune une constitution qui lui est propre. Déjà M. Aimé Girard, en 1884[1], a montré qu'il existe, touchant à la face intérieure de la membrane à diastases, une partie de l'amande, à cellules serrées fortement les unes contre les autres, à grains d'amidon plus petits, contenant une proportion de gluten plus grande que celle qu'on rencontre dans la zone centrale. Si l'on analyse, dans le même but, les farines des broyages successifs prises à la sortie des blutoirs, on peut voir, comme le montrent les résultats suivants choisis parmi les nombreux que j'ai recueillis, que la quantité de gluten va en croissant du premier au dernier broyeur.

Mouture sur blé de Bordeaux des environs de Versailles.

	GLUTEN POUR 100.
1er broyage	7.090
2e —	7.408
3e et 4e —	8.053
5e —	10.560
6e —	11.517

Mais lorsqu'on s'adresse, pour obtenir des renseignements complets à ce sujet, aux produits venant directement du moulin, il est impossible de trancher complètement la question et cela pour plusieurs raisons; d'abord, il est impossible, à moins de travailler spécialement, de connaître le poids du produit total, farine et gruaux, obtenu à chacun des passages; ensuite, les gruaux séparés de la farine s'en vont mélangés vers les appareils de sassage et de convertissage et l'analyse de la farine qu'ils fournissent reste sans objet puisqu'on ne peut établir la situation exacte qu'occupaient dans le

1. *Annales de Physique et de Chimie*, 6e série, t. III, p. 326, 1884.

grain les produits qui lui ont donné naissance; enfin, le meunier soumet le plus souvent à la mouture des grains de variétés mélangées et nous verrons tout à l'heure que, chacune de ces variétés, suivant les cas, pouvant présenter une composition spéciale, il est impossible dans ces conditions de tirer des lois certaines basées sur la composition des produits ainsi obtenus, même par un travail bien dirigé.

Convaincu qu'il était néanmoins intéressant pour le meunier de connaître, au point de vue de la teneur en matières azotées insolubles, la constitution des différentes parties de l'amande du grain de froment, j'ai pensé que, pour que les renseignements obtenus dans cette voie soient fructueux, il fallait : 1° fragmenter le grain, non pas en un grand nombre de parties dont chacune formerait une faible partie du poids total, mais au contraire en quelques portions importantes, représentant, soit par leur totalisation, soit isolément, un pourcentage correspondant au tirage des farines commerciales 50, 60, 70 p. 100 environ; 2° faire non seulement le dosage du gluten dans les produits ainsi obtenus, mais aussi l'analyse qualitative de ce gluten par la détermination des quantités de gluténine et de gliadine qu'il renferme dans chaque cas. Le travail ainsi dirigé a, de plus, l'avantage de pouvoir être fait au laboratoire, et, en opérant avec le moulin que MM. Brault, Teisset et Gillet ont construit sur les indications de M. Aimé Girard, on peut rapidement fragmenter 1 kilogr. de blé en trois parties importantes, en obtenant ainsi pour chacune d'elles, après convertissage, une quantité de farine plus que suffisante pour en faire l'analyse.

L'opération doit être conduite de la façon suivante :

On fait cinq broyages successifs, les trois premiers étant faits avec des degrés de serrage variables avec la grosseur du grain employé. Le premier broyage est mis de côté à cause des impuretés qu'il entraîne.

Le produit du deuxième broyage est tamisé d'abord au tamis n° 20; le produit refusé sera renvoyé au broyage suivant.

La partie qui a traversé le tamis n° 20 est jetée sur un tamis n° 40. Ce qui traverse est mis de côté.

Sur le tamis 40 il reste généralement un mélange de grosses

semoules blanches, de gruaux bis et de petits sons. On calibre ces gruaux et on les force à traverser ensuite le tamis 40 en les passant à plusieurs reprises entre les cylindres serrés à un degré suffisant qui correspond à peu près à celui du 5e broyage.

Finalement, tous les produits : farine et gruaux blancs qui ont traversé ce tamis 40 sont réunis et pesés ; les gruaux bis et petits sons restés sur ce tamis sont envoyés au broyage suivant avec les refus du tamis n° 20.

On opère pour chaque broyage ainsi qu'il vient d'être dit et, finalement, après le 5e on obtient un poids connu de chaque produit ainsi réparti :

1er broyage : mis de côté ;

2e, 3e et 4e broyages : farine et gruaux blancs ;

5e broyage : farine, gruaux blancs et bis, gros et petits sons.

On mélange alors les produits du 2e et du 3e broyage et, après tamisage au n° 120 pour séparer la farine, on convertit séparément : 1° les gruaux des 2e et 3e broyages ; 2° les gruaux du 4e broyage ; 3° les gruaux du 5e broyage.

On conduit le convertissage en serrant progressivement les cylindres lisses et en suivant avec attention l'attaque progressive des gruaux : en général, après trois passages, il reste sur le tamis 120 quelques gruaux bis qu'on convertit finalement avec les gruaux du 5e broyage. On pousse ce dernier convertissage à fond et on réunit les petits sons et issues qu'il laisse aux gros sons obtenus à la fin du broyage. Si on a eu soin de peser tous les produits farineux ainsi obtenus on a ainsi séparé :

1° Un poids connu de farine des 2e et 3e broyages ;

2° — — du 4e broyage ;

3° — — du 5e broyage ;

4° — de sons et issues.

Il est dès lors facile d'établir le pourcentage récapitulatif de la mouture.

Il n'y a plus ensuite qu'à doser le gluten dans chaque farine et déterminer la quantité de gliadine et de gluténine qu'il renferme dans chaque cas. On a ainsi tous les éléments nécessaires à l'établissement de la composition du grain de la variété mise en expérience.

Dans cette méthode, on le voit, on transforme en un produit farineux homogène toutes les parties détachées à chaque coup de cylindre et ces parties proviennent ainsi de trois zones distinctes : 1° celle du centre formée par les 2e et 3e broyages ; 2° une zone extérieure, touchant le son, formée par les produits du 5e broyage ; 3° une zone intermédiaire formée par les produits du 4e broyage.

Je ferai cependant remarquer que les produits des 2e et 3e broyages correspondant à l'ouverture du grain par les cylindres chargés de l'écraser n'ont pas une composition aussi homogène que ceux du 4e et du 5e obtenus par l'usure du grain déjà complètement aplati. Il est impossible, en effet, au moment de l'écrasement initial, d'empêcher certains gruaux, détachés des régions diverses du grain brisé, de venir, par leur mélange, troubler la composition des produits obtenus dès le début de la mouture. On verra, par les résultats indiqués plus loin, que cet inconvénient a pour effet de troubler légèrement les chiffres d'analyse, surtout dans le cas où le pourcentage d'extraction des 2e et 3e broyages est faible ; mais, d'une part, il n'y a pas moyen de l'éviter et, d'autre part, les erreurs qu'il introduit sont légères et ne gênent pas sensiblement l'interprétation des résultats.

J'ai appliqué cette méthode à l'étude des 6 variétés suivantes : blé Goldendrop, blé de Bordeaux, blé Dattel, blé gris de Saint-Laud, blé Choice white de Bombay (Indes), blé Oulka de Bessarabie (Russie) et les résultats obtenus sont consignés dans les tableaux suivants :

Blé Goldendrop.

Provenance : grande culture de Seine-et-Oise.

	RENDEMENT à la mouture.	GLUTEN p. 100 de farine.	COMPOSITION DU GLUTEN.	
	—	—	Gluténine. —	Gliadine. —
2e et 3e broyages	19.35	6.36	21.89	78.11
4e broyage	38.50	7.07	20.32	79.68
5e —	15.32	8.51	24.49	75.51

Extraction . . . 73.17 p. 100 du poids du blé.

Poids moyen d'un grain . . . 0,051

Blé de Bordeaux.

Provenance : blé de semence de la maison Vilmorin-Andrieux.

	RENDEMENT à la mouture.	GLUTEN p. 100 de farine.	COMPOSITION DU GLUTEN.	
	—	—	Gluténine. —	Gliadine. —
2e et 3e broyages	13.23	8.28	25.48	74.52
4e broyage	39.48	8.43	25.16	74.84
5e —	22.25	10.95	33.59	66.41

Extraction . . . 74.96 p. 100 du poids du blé.

Poids moyen d'un grain . . . 0,056

Blé Dattel.

Provenance : blé de semence de la maison Vilmorin-Andrieux.

	RENDEMENT à la mouture.	GLUTEN p. 100 de farine.	COMPOSITION DU GLUTEN.	
	—	—	Gluténine. —	Gliadine. —
2e et 3e broyages	22.00	7.83	25.39	74.61
4e broyage	30.80	8.12	22.93	77.07
5e —	21.90	10.60	37.19	62.81

Extraction . . . 74.70 p. 100 du poids du blé.

Poids moyen d'un grain . . . 0,049

Blé Gris de Saint-Laud.

Provenance : blé de semence de la maison Vilmorin-Andrieux.

	RENDEMENT à la mouture.	GLUTEN p. 100 de farine.	COMPOSITION DU GLUTEN.	
	—	—	Gluténine. —	Gliadine. —
2e et 3e broyages	19.90	7.37	22.94	77.06
4e broyage	27.07	7.71	29.80	70.20
5e —	24.51	9.51	31.55	68.45

Extraction . . . 71.48 p. 100 du poids du blé.

Poids moyen d'un grain . . . 0,050

Blé Choice white Bombay.

Provenance : blé des Indes de grande culture, 1896.

	RENDEMENT à la mouture.	GLUTEN p. 100 de farine.	COMPOSITION DU GLUTEN. Gluténine.	Gliadine.
	—	—	—	—
2e et 3e broyages	23.33	8.03	26.53	73.47
4e broyage	26.36	8.29	26.39	73.61
5e —	23.33	10.24	39.16	60.84

Extraction . . . 73.02 p. 100 du poids du blé.

Poids moyen d'un grain . . . 0.047

Blé Oulka de Bessarabie.

Provenance : blé russe de grande culture, 1895.

	RENDEMENT à la mouture.	GLUTEN p. 100 de farine.	COMPOSITION DU GLUTEN. Gluténine.	Gliadine.
	—	—	—	—
2e et 3e broyages	23.50	10.88	26.93	73.07
4e broyage	18.15	11.33	29.20	70.80
5e —	25.60	13.22	34.00	66.00

Extraction . . . 67.25 p. 100 du poids du blé.

Poids moyen d'un grain . . . 0,029

De l'examen des tableaux précédents on peut tirer plusieurs conclusions importantes :

I. — En ce qui concerne la composition des blés en général, on voit que la richesse en gluten est différente suivant la variété à laquelle on s'adresse. Quant à la composition de ce gluten, on voit qu'elle suit elle-même une allure variable avec la nature du grain soumis à l'analyse : c'est ainsi que la variété Goldendrop est caractérisée par une faible proportion de gluten, celui-ci contenant une grande quantité de gliadine ; que la variété Choice white Bombay, avec une proportion moyenne de gluten, montre celui-ci contenant au contraire beaucoup de gluténine ; que les variétés Bordeaux, Dattel et Gris de Saint-Laud présentent une composition intermédiaire entre les deux précédentes et qu'enfin le blé Oulka de Bessarabie est beaucoup plus riche en gluten qu'aucune des autres variétés envisagées.

II. — Au point de vue du gluten et de sa composition immédiate, pour chaque variété, si on examine les résultats fournis par l'examen des différentes parties séparées du grain, on voit : 1° que la quantité de gluten va en augmentant du centre à la périphérie du grain ; 2° que la quantité de gluténine va également en augmentant, dans le même sens, ce qui entraîne une diminution proportionnelle de la gliadine.

Ces résultats sont d'une netteté absolue pour les variétés Gris de Saint-Laud et Oulka de Bessarabie ; pour les autres variétés, Goldendrop, Bordeaux, Choice white Bombay, dans lesquelles les farines de 2e, 3e, 4e broyage ont la même composition relativement à la gliadine, pour la variété Dattel qui présente entre les 2e, 3e et le 4e broyage une notable différence, il faut tenir compte, ainsi que je l'ai dit précédemment, de l'introduction, dans les produits des 2e et 3e passages, de gruaux provenant des autres parties du grain. Ces gruaux, en effet, détruisent l'homogénéité de la masse, troublent d'autant plus les résultats d'analyse que la composition de la partie périphérique de l'amande est plus différente de la composition de la partie centrale, ainsi que cela se voit parfaitement pour le blé Dattel ; mais cette légère cause d'erreur ne change pas le sens de l'interprétation que j'ai énoncée précédemment.

III. — Au point de vue pratique et en particulier en ce qui concerne leur application au travail de la mouture, ces analyses montrent que l'amande farineuse du grain de blé peut être divisée en deux zones principales : l'une, centrale, formant de 42 à 58 p. 100 du poids du grain, ayant une composition spéciale déterminée, tant au point de vue de la quantité que de la qualité du gluten, variable avec chaque espèce de grain ; l'autre, extérieure à la précédente, représentant 15 à 26 p. 100 du poids total, beaucoup plus riche en gluten que sa voisine, ce gluten étant toujours aussi plus riche en gluténine que celui qu'on peut extraire de la partie centrale.

Il est facile de calculer, en unités de longueur, la valeur de l'épaisseur de cette dernière zone périphérique en admettant : 1° que le grain de blé est un ellipsoïde engendré par la révolution d'une ellipse tournant autour de son grand axe, celui-ci étant, ce qui est sensiblement vrai, égal à deux fois le petit axe ; 2° que la densité de l'amande farineuse est la même dans toutes ses parties.

L'intégrale

$$V = \pi \int_a^b y^2 \, dx$$

qui représente le volume engendré par une surface de révolution, résolue pour l'ellipse dont le centre est pris comme origine et avec les conditions précédentes, devient

$$V = \frac{1}{3} \pi a^3$$

a représentant le demi-grand axe de l'ellipsoïde égal à l'extraction la plus élevée, soit 73.17 p. 100 dans le cas du blé Goldendrop. Si on représente par α le demi-grand axe de l'ellipsoïde égal à l'extraction la plus faible, soit $19.35 + 38.50 = 57.85$ p. 100 dans le même cas, $(a - \alpha)$ représente l'épaisseur de la zone périphérique et un calcul simple montre que ces deux quantités sont liées par l'équation

$$\alpha = a \sqrt[3]{\frac{P'}{P}},$$

P étant par exemple égal à 73.17, P' à 57.85 pour le blé de Goldendrop.

La résolution de cette équation pour les six variétés de blé étudiées précédemment donne pour α les valeurs suivantes :

Blé Goldendrop.	$\alpha = a \times 0,92$
— de Bordeaux	$\alpha = a \times 0,89$
— Dattel	$\alpha = a \times 0,89$
— Gris de Saint-Laud. .	$\alpha = a \times 0,87$
— Choice white Bombay.	$\alpha = a \times 0,88$
— Oulka de Bessarabie .	$\alpha = a \times 0,85$

ce qui montre bien que la valeur de α est sensiblement proportionnelle au grand axe du grain, c'est-à-dire à la grosseur de celui-ci. Si on admet pour la valeur du grand axe un chiffre moyen de 6 millimètres et pour α la valeur moyenne

$$\alpha = a \times 0,885$$

on aura

$$\alpha = 3 \times 0,885 = 2,7$$

$$a - \alpha = 0^{mm},3 = \frac{3}{10} \text{ de millimètre.}$$

On peut dire, sans commettre d'erreur grave, que l'épaisseur de la zone périphérique de l'amande farineuse du grain de blé est égale à $\frac{3}{10}$ de millimètre, soit vingt fois environ plus petite que la longueur de ce grain. Cette valeur peut parfaitement être admise comme valeur moyenne, puisqu'elle est calculée d'après les déterminations faites sur le blé Oulka de Bessarabie, dont le grain est très petit (poids d'un grain = 0,029) et le blé de Bordeaux (poids moyen = 0,056), dont le grain, au contraire, a une grosseur qu'on peut considérer comme maximum.

IV. — Dans un travail présenté à l'Académie des sciences en 1896, M. Aimé Girard a réfuté les erreurs commises dans quelques publications où l'on a essayé de soutenir que les farines commerciales, capables seules de donner des pains blancs et bien levés, tirées à 55-60 p. 100 d'extraction, ne contiennent qu'une faible proportion de gluten, celui-ci existant, au contraire, en quantité importante dans les produits à taux d'extraction plus élevé, 70-74 p. 100 au moins, présentant seuls, par conséquent, une valeur alimentaire convenable. Je n'ai pas à revenir sur cette question, qui a été à ce moment résolue avec toutes sortes d'arguments péremptoires, mais j'ai essayé de calculer, sur les six variétés de blé que j'ai examinées, quelle serait l'augmentation de la matière azotée insoluble, si, dans la mouture qui leur a été appliquée, on passait de 60 à 70 p. 100 d'extraction.

Un simple examen montrera que, pour le blé Goldendrop, par exemple, 60 p. 100 de farine seront donnés par

2e et 3e broyages . . .	19.35 à 6.36 p. 100 de gluten	=	1.23
4e broyage. . . .	38.50 à 7.07 —	=	2.72
5e —	2.15 à 8.51 —	=	0.18
Total . .	60.00 à 6.90 p. 100 de gluten	=	4 13

Dans le même cas, la farine à 70 sera composée de

Farine à 60 p. 100 .	60 à 6.90 p. 100 de gluten	=	4.13
5e broyage	10 à 8.51 —	=	0.85
Total . . .	70 à 7.11 p. 100 de gluten	=	4.98

En appliquant ce raisonnement à toutes les autres variétés, on obtient, pour les quantités de gluten contenues dans les farines à 60 et à 70 p. 100, le tableau suivant :

Gluten pour 100 de farine.

	EXTRACTION	
	60 p. 100.	70 p. 100.
Blé Goldendrop	6.90	7.11
— de Bordeaux	8.70	9.00
— Dattel	8.30	8.60
— Gris de Saint-Laud. . .	8.00	8.20
— Choice white Bombay. .	8.53	8.77
— Oulka de Bessarabie . . .	10.10	10.51

Ces résultats viennent donc à l'appui de ceux fournis par M. Aimé Girard, ils montrent bien que le passage de 60 à 70 p. 100 d'extraction aboutit, au point de vue de la teneur en gluten, à une augmentation insignifiante.

Proportions dans lesquelles les différentes variétés de blé renferment la gliadine et la gluténine. — Composition élémentaire azotée du gluten et de ses constituants.

Les analyses précédentes permettent, au moyen d'un calcul très simple, de déterminer les proportions relatives de gluténine et de gliadine renfermées dans les différentes variétés de blé envisagées. Il suffit pour cela d'admettre, ce qui est suffisant pour cet objet : 1° que le grain de blé, quelle que soit la variété à laquelle il appartient, renferme, d'après les travaux de M. Aimé Girard, 84 p. 100 environ de son poids formé par l'amande farineuse ; 2° que la partie de cette amande, encore adhérente au son, a la même composition que la farine du 5e broyage que la mouture nous a fournie.

Pour le blé Goldendrop, par exemple, l'amande farineuse sera ainsi formée des trois parties suivantes ayant la composition ci-dessous :

		GLUTÉNINE.	GLIADINE.
2e et 3e broyages .	19.35 p. 100 contenant .	0.27	0.96
4e broyage .	38.50 — .	0.55	2.17
5e — .	26.15 — .	0.55	1.67
Total . .	84.00 p. 100 contenant . .	1.37	4.80

En appliquant ce raisonnement, on obtient, pour la teneur en gliadine et gluténine des six variétés de blé analysées, les résultats suivants :

	GLUTÉNINE p. 100 du poids du blé.	GLIADINE p. 100 du poids du blé.
Blé Goldendrop	1.37	4.80
— de Bordeaux.	2.27	5.59
— Dattel	2.17	5.36
— Gris de Saint-Laud	2.08	5.00
— Choice white Bombay	2.44	5.13
— Oulka de Bessarabie.	3.17	6.96

Dans le travail publié par MM. Osborne et Woorhees, les études ont porté sur deux variétés de blé américaines : un blé d'hiver et un blé de printemps. En se basant sur la méthode de séparation au moyen de l'alcool, méthode que j'ai discutée précédemment, en dosant l'azote sur les produits séparés et en remontant à la matière azotée au moyen du multiplicateur 5.68, dont je dirai tout à l'heure la provenance, les deux chimistes américains ont donné, pour les proportions de gliadine et de gluténine contenues dans le grain de blé, les chiffres suivants :

Gliadine	4.25 p. 100 environ.
Gluténine.	4 à 4.5 —

Ces chiffres, fortement entachés d'erreur par suite, d'une part, de la défectuosité de la méthode de séparation, d'autre part à cause de l'emploi du coefficient 5.68, qui n'a qu'une valeur relative, ne sauraient donc exprimer la vérité.

Les résultats que je viens de donner, basés sur la pesée directe des produits extraits, montrent bien qu'il est difficile d'enfermer les proportions de gluténine et de gliadine entre des valeurs absolues : ces valeurs, en effet, dépendent de la teneur du blé en gluten et de l'allure générale de ce gluten même. C'est ainsi, par exemple, que parmi les quatre blés analysés provenant de cultures françaises, on voit le blé Goldendrop renfermer 1.37 p. 100 de gluténine, 4.80 p. 100 de gliadine, tandis que les trois autres variétés sont beaucoup plus riches, 2.08 à 2.27 p. 100 pour la gluténine, 5.00 à 5.59 p. 100

pour la gliadine ; on voit par là que le blé Goldendrop a dans ce cas une allure beaucoup plus gliadineuse que ses congénères. Enfin, l'influence de la quantité de gluten est suffisamment marquée, dans la composition du blé Oulka de Bessarabie, pour qu'il soit utile d'y insister.

Pour être vrai — et d'autres expériences nombreuses viennent à l'appui de cette affirmation — d'une part, le blé Goldendrop ayant une proportion de gluten représentant un minimum, avec un maximum de gliadine ; d'autre part, le blé Oulka de Bessarabie ayant au contraire une proportion de gluten qui est rarement dépassée dans les blés tendres, ce gluten contenant plutôt un excès de gluténine, on peut dire que les différentes variétés de blés tendres ont des quantités de gliadine et de gluténine pouvant osciller entre les valeurs extrêmes suivantes :

Gluténine	1.40 à 3.20	p. 100 du poids du blé.
Gliadine.	4.80 à 7.00	—

Les idées que je viens de développer viennent encore expliquer les divergences de résultats que je dois signaler entre la composition élementaire azotée de la gliadine et de la gluténine trouvée par MM. Osborne et Woorhees et par moi.

J'ai déjà expliqué comment la méthode employée par les auteurs précédents les a conduits à séparer la gluténine mélangée à une forte proportion de gliadine coagulée. S'il est besoin d'une nouvelle preuve à l'appui de ma démonstration, je la trouve dans ce fait que ces deux produits sont signalés comme ayant la même teneur en azote :

Gliadine	17.66	p. 100
Gluténine.	17.49	—

ce qui permet d'employer le chiffre 5.68 comme coefficient.

Or, lorsqu'on dose l'azote dans les glutens différents que l'on extrait des farines de variétés diverses de blé, on trouve des résultats variables. J'ai déjà montré[1] que ces considérations entraînent

1. *Thèse de doctorat*, p. 23 et 24.

également pour la gluténine et la gliadine, dont les proportions elles-mêmes ne sont pas constantes, une composition azotée oscillant entre des valeurs maxima et minima, valeurs qui sont liées, forcément, à la quantité d'azote que le gluten, dont on les extrait, renferme.

C'est ainsi, par exemple, que de nombreuses analyses m'ont montré que les quantités d'azote que renferment le gluten, la gliadine et la gluténine peuvent osciller entre les valeurs suivantes :

	AZOTE POUR 100.
Gluten	14.28 à 16.30
Gluténine.	12.38 à 16.90
Gliadine.	15.35 à 16.97

Les deux analyses suivantes, faites sur les farines de 4e broyage du blé Choice white Bombay et Oulka de Bessarabie, montrent comment sont liées les teneurs en azote du gluten et de ses composants.

Oulka de Bessarabie.

Gluténine. . .	3.31 p. 100 de la farine	à 14.80 p. 100 d'azote.	
Gliadine . . .	8.02 —	à 16.97 —	
Gluten . .	11.33 p. 100 de la farine	à 16.30 p. 100 d'azote.	

Choice white Bombay.

Gluténine. . .	2.19 p. 100 de la farine	à 16.90 p. 100 d'azote.	
Gliadine . . .	6.10 —	à 15.46 —	
Gluten . .	8.29 p. 100 de la farine	à 15.77 p. 100 d'azote.	

J'ai fait de nombreux dosages d'azote sur diverses matières protéiques végétales et lorsqu'on compare les résultats obtenus en France et à l'étranger, on trouve qu'en général, pour les matières telles que la légumine, l'albumine végétale, les constituants du gluten et le gluten lui-même, la quantité d'azote p. 100 contenue dans les produits français est toujours inférieure à celle contenue dans les produits étrangers. Aussi, je crois que pour les matières récoltées chez nous, le coefficient 6.25 répond à peu près à la vérité dans le calcul

des matières protéiques, tout en ayant néanmoins une tendance à être trop faible de 0.2 à 0.3 environ ; il n'est au contraire pas aussi exagéré qu'on l'exprime quelquefois, notamment en Allemagne, pour le calcul des mêmes matières récoltées à l'étranger.

On voit qu'il y a là un point très intéressant à élucider ; j'ai commencé cette étude en ce qui concerne la composition du gluten et de ses constituants extraits des blés français et étrangers. Mais, pour le moment, outre les réflexions que je viens de faire plus haut, je crois que, dans cette voie, il m'est seulement permis de poser le principe suivant : plus le grain de blé renferme de gluten, plus ce gluten est lui-même riche en azote.

V. — CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Je résume ici les résultats les plus importants auxquels ces recherches m'ont conduit et que j'ai développés au cours de ce mémoire.

1° Le gluten contenu dans le grain de froment, extractible par les procédés ordinaires, est constitué par trois substances, *gliadine, gluténine, conglutine,* dont les deux premières forment la presque totalité de ce produit. La gliadine est une matière fortement agglutinative, la gluténine une matière pulvérulente, inerte, et leur mélange donne par conséquent au gluten les propriétés physiques variables qui le caractérisent.

La gliadine est soluble dans l'alcool à 70° contenant $\frac{3}{1000}$ de potasse caustique, la gluténine y est insoluble et la légère émulsion qu'elle forme avec ce dissolvant se détruit par le passage d'un courant d'acide carbonique.

2° Le gluten contenu dans les farines des autres céréales : riz, maïs, orge, seigle, sarrasin, inextractible par les procédés ordinaires de malaxage, est constitué aussi par de la gliadine et de la gluténine, cette dernière substance étant en très grand excès sur la première et annulant par conséquent ses propriétés agglutinatives.

3° L'étude des propriétés du gluten et de ses constituants m'a per-

mis d'établir une méthode chimique d'appréciation de la valeur boulangère des farines pures de froment. Cette méthode a pour base, ainsi que je l'ai montré, la détermination de la valeur quantitative du rapport $\frac{\text{gluténine}}{\text{gliadine}}$, la farine examinée présentant des qualités d'autant meilleures que la valeur de ce rapport se rapproche plus de la fraction $\frac{25}{75}$.

4° La quantité d'eau qu'une farine peut retenir à la panification est liée directement à sa teneur en gluten, celui-ci pouvant avoir dans ces conditions, au point de vue de la gliadine et de la gluténine, une composition variable.

5° Le travail de la panification amène le boulanger à corriger les défauts de quelques farines en y ajoutant parfois 2 à 3 p. 100 de farine de féverole. En général, les farines pour lesquelles cette nécessité se fait sentir possèdent un gluten riche en gliadine. L'étude des matières azotées contenues dans la farine de légumineuses montre que ces matières sont constituées, pour la presque totalité, par des caséines végétales, légumine et gluténine, et un calcul simple explique dès lors le rôle correctif que ces matières peuvent jouer en mélange ; elles ramènent le rapport $\frac{\text{gluténine}}{\text{gliadine}}$ aussi près que possible de $\frac{25}{75}$.

La farine de riz, ajoutée en proportions plus grandes, 8 à 12 p. 100, peut aussi jouer un rôle analogue.

6° De l'étude spéciale de l'amande farineuse du grain de blé, au point de vue de sa composition en matière azotée insoluble, j'ai pu déduire :

a) Chaque variété de blé possède une quantité variable de gluten, celui-ci ayant lui-même une composition centésimale spéciale au point de vue de la gliadine et de la gluténine ;

b) Quelle que soit la variété à laquelle on s'adresse, les quantités de gluten et de gluténine vont en augmentant du centre à la périphérie de l'amande farineuse ;

c) Au point de vue pratique, on peut diviser l'amande farineuse du grain de froment en deux zones distinctes : une zone centrale, for-

mant 42 à 58 p. 100 du poids du grain, ayant une composition azotée variable avec chaque espèce de grain; une zone périphérique de $\frac{3}{10}$ de millimètre d'épaisseur environ, formant 15 à 26 p. 100 du poids du grain, toujours beaucoup plus riche en gluten et en gluténine que la précédente.

7° L'étude de variétés de blé contenant des quantités de gluten enfermées entre des limites minima et maxima montre que le grain de blé peut renfermer :

Gluténine.	de 1.37 à 3.17 p. 100
Gliadine	de 4.80 à 6.96 —

La teneur en azote p. 100 du gluten, de la gliadine et de la gluténine ne s'exprime pas par un nombre constant. Elle dépend de circonstances diverses inconnues jusqu'ici. J'ai trouvé pour ces trois substances, dans les conditions que j'ai expliquées, les résultats suivants :

	AZOTE POUR 100.
Gluten	14.28 à 16.30
Gluténine	12.38 à 16.90
Gliadine	15.35 à 16.97

Les recherches que je viens d'exposer dans les pages précédentes seront complétées bientôt par la publication des analyses des blés d'origines diverses faites en collaboration avec mon regretté maître Aimé Girard et que j'ai le devoir de mener à bien après sa mort trop prématurée.

Mais, tel qu'il se présente aujourd'hui, ce travail a déjà des conséquences importantes : au chimiste agronome, il indique les conditions suivant lesquelles il devra poursuivre méthodiquement, d'année en année, les recherches sur la valeur des diverses variétés de blé qu'il cultive, ces recherches devant conduire inévitablement à des résultats fort importants pour l'agriculture de la région qu'il habite; au meunier, il montre que tous les blés ne fournissent pas des farines de même qualité boulangère, qu'il est possible, néanmoins, par des mélanges rationnellement faits, de corriger les produits qu'il

achète ou qu'il fabrique les uns par les autres et que c'est encore en introduisant le contrôle scientifique à la base de son industrie qu'il arrivera à tirer des grains qu'il soumet à la mouture le parti le plus avantageux pour lui, pour le boulanger et pour le consommateur.

RAPPORT

Présenté, le 10 mai 1898, au Comité des Arts chimiques de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, par **M. A. LIVACHE**, sur le travail de M. E. FLEURENT, intitulé : *Recherches sur la composition immédiate et élémentaire des matières albuminoïdes extraites du grain des céréales et des graines des légumineuses ; conséquences pratiques de cette étude.*

Il est acquis aujourd'hui que le pain blanc provenant de farines pures est supérieur au pain bis des farines inférieures, tant au point de vue nutritif qu'à celui de la perméabilité par les sucs digestifs, de la digestibilité, de la conservation, etc... ; les études magistrales d'Aimé Girard, effectuées tant au laboratoire que dans l'industrie, ont définitivement résolu cette question.

Aussi, l'industrie a-t-elle été conduite à produire des farines blanches, permettant d'obtenir le pain blanc, poreux et léger qu'exige la consommation et elle y est arrivée, grâce à la transformation de son outillage, au perfectionnement de ses procédés et à la fixation d'un taux d'extraction de farine judicieusement choisi.

Cependant, lorsque que l'on observe les pains fabriqués avec les farines de choix, on constate des différences notables suivant la provenance de ces farines. Avec les unes, on obtient un produit de levée régulière et de bonne tenue ; avec les autres, au contraire, on n'obtient qu'un pain mal levé et manquant de porosité.

En présence de ces résultats, la première idée qui devait venir à l'esprit était d'apprécier la teneur en gluten de ces farines, puisque c'est le gluten qui, par sa plasticité, leur communique la propriété de fournir des pains spongieux, de levée facile et régulière. Mais on put se convaincre que la teneur en gluten n'était pas la cause principale des différences observées, car des farines ayant des teneurs en gluten sensiblement égales, fournissaient des pains de qualités très différentes.

Des travaux, entrepris depuis de longues années, sur les matières albuminoïdes, conduisirent M. Fleurent à attribuer les différences constatées, non pas tant à la teneur en gluten qu'aux propriétés des divers principes constitutifs de ce gluten et à leurs proportions relatives. C'est en partant de ce point de vue que M. Fleurent est arrivé à des conclusions excessivement intéressantes, permettant de fixer les conditions essentielles que doivent remplir les farines pour fournir des produits de panification répondant à tous les désidérata de la consommation.

Dans l'important mémoire que M. Fleurent a présenté à la Société d'encouragement, il commence par faire une étude approfondie de la composition immédiate du gluten des céréales. En modifiant, aussi ingénieusement que méthodiquement, les procédés d'analyse ordinairement employés et qui ne donnaient le plus souvent que des produits impurs ou altérés par l'emploi de réactifs trop énergiques, il a réussi à obtenir, à l'état de pureté absolue, les principes constitutifs du gluten et, en particulier, les deux principes qui y entrent presque exclusivement, la gluténine et la gliadine.

L'expérience montre que le gluten des bonnes farines de froment contient 18 à 34 p. 100 de gluténine, matière pulvérulente et sèche, et 82 à 66 p. 100 de gliadine, matière visqueuse et fluente, à laquelle il faut attribuer les propriétés agglutinatives du gluten. Veut-on en extraire le gluten en soumettant un pâton de farine à l'action de l'eau contenant une petite quantité de matières salines, la gliadine se transforme en une masse molle, à laquelle les particules de gluténine pulvérulente, jouant le rôle de matière inerte, donnent un degré de consistance suffisant pour rendre facile l'extraction du gluten.

Prenant alors les farines extraites des céréales autres que le froment, telles que celles de seigle, de maïs, de riz, d'orge, de sarrasin, et dont on sait que le gluten est inextractible dans les conditions précédentes de lavage à l'eau, M. Fleurent montre que dans ce gluten, extrait alors par des moyens appropriés, la gliadine diminue dans de notables proportions par rapport à la gluténine; l'excès de cette dernière empêche alors la gliadine de se lier, d'où impossibilité d'extraire le gluten par les moyens ordinairement employés pour l'extraction du gluten de la farine de froment.

Des chiffres obtenus dans les expériences précédentes, M. Fleurent tire cette conclusion : pour qu'un gluten soit extractible, c'est-à-dire éminemment élastique et non collant, il doit exister un rapport minimum et maximum entre les quantités de gluténine et de gliadine.

Ces premiers résultats acquis, M. Fleurent examine de nombreuses farines de froment et il montre que leur valeur boulangère est fonction de ce rapport qui, dans les meilleures conditions, correspond à 25 p. 100

de gluténine et 75 p. 100 de gliadine; avec une telle composition de gluten, on aura un pain bien développé et de facile digestion. Le rapport précédent descend-il à 20 p. 100 de gluténine et 80 p. 100 de gliadine, le pain se développe bien à la fermentation, mais redevient compacte pendant la cuisson. Si enfin ce rapport monte à 34 p. 100 de gluténine et 66 p. 100 de gliadine, la pâte est sèche, peu liée, se développe mal; le pain reste compacte et indigeste.

Incidemment, M. Fleurent montre que la fixation de l'eau qu'une farine peut retenir après la panification n'est fonction que de la quantité de gluten et non pas de la proportion relative des deux composants, gliadine et gluténine.

Le rapport dans lequel doivent être les éléments constitutifs du gluten étant bien établi, M. Fleurent a été conduit à rechercher les moyens de corriger les farines donnant des produits de panification de qualité inférieure. Il a d'abord constaté que dans les farines des légumineuses, la matière azotée se compose principalement de légumine fonctionnant comme la gluténine et de gluten très peu riche en gliadine. Il était donc rationnel, lorsque l'on se trouvait en présence de farines de froment de valeur boulangère inférieure, parce que la gliadine domine par rapport à la gluténine, d'y introduire une certaine quantité de farine de légumineuses, judicieusement calculée, de manière à rétablir le rapport 25 p. 100 de gluténine et 75 p. 100 de gliadine.

L'expérience montre qu'il en est bien ainsi et vient confirmer les habitudes commerciales qui consistent à ajouter 2 à 3 p. 100 de farine de légumineuses, comme on le pratique fréquemment dans la région du Nord, ou 8 à 12 p. 100 de farine de riz, ainsi qu'on le fait quelquefois en boulangerie, à certaines farines de froment; sans cette addition, celles-ci ne donneraient que des pains plats et mal levés.

De plus, il suffira, pour une farine ainsi travaillée, de déterminer le rapport de la gluténine à la gliadine pour établir nettement si cette addition a été faite dans le but d'améliorer la farine de froment, ou, au contraire, de la falsifier. Il y a là un résultat doublement important, tant au point de vue de la panification qu'au point de vue fiscal.

Dans la dernière partie de son important travail, M. Fleurent s'est demandé quelle était, dans les différentes parties du grain de blé, la répartition du gluten et de ses principes immédiats, dont les proportions ont une si grande importance pratique.

Faisant usage d'un broyeur construit spécialement en vue d'expériences sur la mouture, M. Fleurent a réussi, au moyen d'artifices ingénieux, à isoler les fragments provenant de trois zones distinctes de l'amande du grain de blé et à transformer ensuite chacun de ces fractionnements en produits farineux homogènes dont il a étudié les différences de constitu-

tion au point de vue spécial de leur gluten. Opérant ainsi sur un grand nombre de blés, et le mémoire donne des analyses très complètes des produits obtenus, il démontre que, si la quantité de gluten va en augmentant du centre du grain de blé à la périphérie, la quantité de gluten va également en augmentant dans le même sens, tandis que la quantité de gliadine diminue proportionnellement.

On comprend de suite la conclusion pratique qui en découle : la partie centrale du grain de blé, formant 42 à 58 p. 100 du poids de ce grain, a une composition spéciale bien déterminée, tant au point de vue de la quantité du gluten que de sa qualité, cette dernière établissant la valeur boulangère de cette farine. On pourra donc savoir, d'après le rapport de la gluténine à la gliadine du gluten de cette partie de l'amande, dans quelles limites on devra soit séparer les produits provenant du restant de l'amande, soit, au contraire, les ajouter pour rehausser le titre en gluténine.

Telles sont les grandes lignes du mémoire très étendu présenté par M. Fleurent. Cette étude produira tout son effet lorsque sera terminé le vaste travail qu'avait entrepris Aimé Girard sur la composition des blés français et étrangers, et pour l'exécution duquel M. Fleurent avait eu l'honneur d'être choisi comme collaborateur; nous comptons sur sa promesse de mener à bien ce travail, qui était presque terminé lors de la mort de notre regretté secrétaire.

En appliquant alors les règles établies par M. Fleurent, l'industrie aura à sa disposition des farines de valeur boulangère connue et, au besoin, elle pourra faire des coupages raisonnés, soit des blés eux-mêmes, soit des produits qu'ils auront donnés en vue d'obtenir finalement des farines de panification donnant pleine satisfaction à la consommation.

Votre rapporteur a l'honneur de vous proposer de remercier M. Fleurent de sa communication également importante, tant pour les producteurs de farines que pour les industriels qui les travaillent, et d'ordonner l'insertion du présent rapport au *Bulletin*.

EXPÉRIENCES

SUR

L'AMÉLIORATION

DE LA

CULTURE DES RACINES FOURRAGÈRES

PAR

M. C.-V. GAROLA

DIRECTEUR DE LA STATION AGRONOMIQUE DE CHARTRES
PROFESSEUR DÉPARTEMENTAL D'AGRICULTURE

Poussés par l'aiguillon de la nécessité, les cultivateurs qui s'adonnent à la production de la betterave à sucre sont arrivés, depuis quinze ans, par des recherches suivies, à améliorer la racine saccharigène d'une façon remarquable. Le taux de sucre pour cent de racine a été augmenté de beaucoup, grâce à la sélection des porte-graines et à une culture en rangs serrés, grâce aussi à l'emploi de fumures abondantes et appropriées. Pendant ce temps, qu'a fait le cultivateur de betteraves fourragères? Il est resté hypnotisé par le rendement brut et par la grosseur des racines. Ces deux seules *apparences* sont demeurées pour lui le criterium de la valeur agricole des variétés. On ne le voit s'inquiéter en rien de la richesse des betteraves en substances réellement nutritives ; il n'y a pas pour lui betteraves et betteraves, comme il y a pour tout le monde fagots et fagots.

Et cependant il n'est pas douteux, quand on se donne la peine de réfléchir un instant, que, si la valeur de la betterave industrielle est proportionnelle à sa richesse centésimale et à son rendement total en sucre à l'hectare, la valeur d'une betterave fourragère doit être en raison de sa teneur en principes nutritifs et de son rendement en matières réellement alimentaires par hectare. Or y a-t-il parallélisme entre le rendement brut par unité de surface, entre la grosseur individuelle des racines et leur valeur alimentaire ? L'expérience montre qu'il n'en est rien. Depuis plusieurs années, M. Dehérain a fait la démonstration de la mauvaise qualité des grosses racines. Nous avons entrepris de propager ses idées, depuis deux ans, et nous avons pu, grâce au concours dévoué et désintéressé de M. Oscar Benoist, l'habile agriculteur de Cloches, établir des expériences dont les résultats ont été très démonstratifs.

En 1896, elles ont porté sur la betterave jaune ovoïde des Barres, et avaient pour but d'étudier l'influence de l'espacement des racines sur le rendement en substances alimentaires par hectare. Comme nous avons déjà publié les résultats obtenus dans nos derniers rapports[1], il nous suffira d'en rappeler ici les conclusions. Les betteraves serrées (744 à l'are) ont donné un rendement brut de 804 quintaux à l'hectare, tandis que les betteraves à grand espacement (220 à l'are) ont produit 829 quintaux. Le poids moyen des premières était de 1 065 gr. et celui des grosses de 3 768 gr. Or, malgré la légère infériorité du rendement brut, les betteraves serrées ont donné à l'hectare un excédent de matières réellement nutritives (sucre, albumine et graisse) de 1 240 kilogr. sur les grosses racines. Si l'on rapporte cet excédent à la somme de matière nutritive fournie par un hectare de betteraves à grandes distances, somme qui s'élevait à 2 072^{kg},5, on voit que la culture à plants serrés a augmenté le rendement en éléments nutritifs de 60 p. 100. Nous avons constaté, d'autre part, que les petites betteraves renfermaient trois fois moins de nitrate de potasse que les grosses. Une vache mangeant 40 kilogr. de grosses racines absorbait 64 gr.

---

1. *Rapports sur les Champs d'expériences et de démonstration d'Eure-et-Loir*, 1895-1896, et *Annales agronomiques*, 1897, n° 4.

de nitrate par jour, tandis qu'en consommant les petites en même quantité, elle n'en ingérait que 20 gr. A petite dose, ce sel est très laxatif et l'observation a montré qu'une quantité de 100 gr. absorbée par une vache moyenne est très nuisible à sa santé.

Enfin nous avons été frappé de la pauvreté de nos betteraves en matières nutritives et de leur richesse en eau. Cela nous a conduit à entreprendre nos essais de 1897, dans le but de confirmer les précédents et de rechercher parmi les variétés de betteraves connues celles qui seraient le plus avantageuses sous le rapport de la production de la matière nutritive.

Nous ne nous sommes pas, cette fois, borné à des expériences culturales et à des analyses, mais nous avons voulu compléter nos investigations par des essais d'alimentation poursuivis à Cloches sur l'engraissement du mouton, et par des recherches sur la digestibilité des racines grosses et petites exécutées sur le lapin, à la Station agronomique.

I. — Résultats culturaux.

Dans un sol de limon ayant reçu une fumure de 40 000 kilogr. de fumier de ferme excellent et 400 kilogr. de superphosphate à l'hectare, nous avons cultivé comparativement 9 variétés de betteraves et 2 variétés de carottes, en lignes espacées, d'une part, de 90 centimètres, et de l'autre, de 45. Sur la moitié de la superficie de chaque groupe de racines cultivées à des distances différentes, il a été répandu une fumure additionnelle de 200 kilogr. de nitrate de soude, par hectare, afin de reconnaître si cette addition influerait notablement sur la teneur des racines en nitrate.

Les tableaux suivants rendent compte des résultats obtenus, ramenés à l'hectare. Pour chaque variété, nous avons indiqué le nombre de plants récoltés à l'are, afin de bien préciser l'espacement.

Semis en lignes distantes de 45 centimètres.

VARIÉTÉS CULTIVÉES.	SANS NITRATE		AVEC NITRATE		MOYENNES	
	Racines par are.	Rendement brut à l'hectare.	Racines par are.	Rendement brut à l'hectare.	Racines par are.	Rendement brut à l'hectare.
		quint.		quint.		quint.
Carotte blanche à collet vert	2 040	646	2 218	678	2 129	662
— des Vosges.	1 908	666	2 164	686	2 036	676
MOYENNE des carottes fourragères . .	1 974	656	2 191	682	2 082	669
Betteraves blanches à sucre { Klein-Wanzleben . . .	784	360	716	362	750	361
à collet rose	728	392	884	482	806	437
à collet vert (Brabant).	802	380	858	389	803	384
MOYENNE des betteraves à sucre. . .	771	377	819	408	786	394
Betterave géante blanche demi-sucrière .	846	552	866	581	856	566
— disette Mammouth	944	466	836	547	790	506
— jaune géante de Vauriac . . .	794	576	696	680	745	628
— globe à petites feuilles. . . .	904	452	960	558	932	505
— jaune ovoïde des Barres . . .	830	550	828	638	829	594
— disette corne-de-bœuf	930	450	918	533	924	491
MOYENNE des betteraves fourragères .	874	507	850	589	846	548
MOYENNE générale des betteraves. .	840	464	840	530	826	497

Semis en lignes distantes de 90 centimètres.

VARIÉTÉS CULTIVÉES.	SANS NITRATE.		AVEC NITRATE.		MOYENNES.	
	Racines par are.	Rendement brut à l'hectare.	Racines par are.	Rendement brut à l'hectare.	Racines par are.	Rendement brut à l'hectare.
		quint.		quint.		quint.
Carotte blanche à collet vert	1 242	480	1 336	550	1 289	515
— des Vosges.	1 148	500	1 116	472	1 132	486
MOYENNE des carottes fourragères . .	1 195	490	1 226	511	1 210	500
Betteraves blanches à sucre { Klein-Wanzleben. . .	248	300	248	312	248	306
à collet rose	266	368	274	442	270	405
à collet vert (Brabant).	260	323	288	362	274	342
MOYENNE des betteraves à sucre. . .	258	330	270	372	264	351
Betterave géante blanche demi-sucrière .	254	440	254	492	254	466
— disette Mammouth	268	382	266	464	267	423
— jaune géante de Vauriac . . .	228	428	252	530	240	479
— globe à petites feuilles. . . .	272	440	250	446	261	443
— jaune ovoïde des Barres . . .	232	478	222	490	227	484
— disette corne-de-bœuf	264	390	252	412	258	401
MOYENNE des betteraves fourragères.	253	426	249	472	251	449
MOYENNE générale des betteraves . .	254	383	255	439	255	416

De l'examen des résultats précédents, il appert qu'en général pour les carottes, les betteraves sucrières et les betteraves fourragères, la culture en lignes espacées seulement de 45 centimètres a donné des rendements plus considérables que la culture à grandes distances. Il n'y a d'exception pour aucune variété. Les excédents sont de 169 quintaux pour les carottes, de 86 quintaux pour les betteraves à sucre, et de 99 quintaux pour les racines fourragères. A supposer que les petites racines n'aient pas une valeur supérieure aux grosses, il est indiscutable déjà qu'il est avantageux d'adopter la culture en ordre serré.

D'un autre côté, l'addition de 200 kilogr. de nitrate de soude à la fumure générale de 40 000 kilogr. de très bon fumier et 400 kilogr. de superphosphate a eu une action sensible sur le rendement. Le tableau suivant met ce fait en évidence.

	SANS nitrate (moyennes).	AVEC nitrate (moyennes).	EXCÉDENTS (moyennes).
	quintaux.	quintaux.	quintaux.
Carottes.	573	591	18
Betteraves à sucre.	353	390	37
Betteraves fourragères	466	530	64

La valeur de la fumure additionnelle de nitrate étant de 46 fr., le quintal obtenu en excédent revient aux prix ci-dessous :

Carottes	2f,50c
Betteraves à sucre	1 ,24
Betteraves fourragères.	0 ,72

L'opération semble donc avoir été avantageuse pour les betteraves, mais non pour les carottes.

Nous pouvons enfin classer les variétés d'après le rendement brut moyen comme il suit :

1.	Carotte blanche à collet vert . . .	588 quintaux.
2.	— des Vosges. . . .	581 —
3.	Géante de Vauriac	553 —
4.	Ovoïde des Barres	539 —
5.	Géante blanche demi-sucrière. . .	516 —
6.	Globe à petites feuilles.	474 —
7.	Disette Mammouth	464 —
8.	Corne-de-bœuf	446 —
9.	Betteraves à collet rose	421 —
10.	— à collet vert	363 —
11.	— Klein-Wanzleben. . . .	333 —

Il est inutile de commenter ce classement pour l'instant. On le rapprochera plus tard de celui que nous pourrons déduire de nos recherches analytiques et de nos expériences sur les animaux. Contentons-nous de constater que les betteraves se groupent très régulièrement ; les variétés sucrières ont un rendement brut inférieur à celui des betteraves fourragères. Enfin, les carottes se montrent supérieures aux betteraves, comme nous l'avons souvent observé dans les cultures de la ferme de Cloches.

II. — Composition chimique des racines.

A la récolte, notre excellent collaborateur a prélevé dans chaque parcelle un échantillon moyen de racines de 50 kilogr. environ. Les 44 échantillons furent expédiés à la Station agronomique pour y être analysés.

A leur réception, les lots furent pesés séparément et l'on compta le nombre total des racines qui les constituaient, pour en déduire leur poids moyen. Puis nous rangeâmes les betteraves par ordre de grosseur et nous prélevâmes sur un nombre suffisant de racines, représentant exactement l'ensemble, à l'aide du foret Champonnois, au tiers supérieur de la betterave, une quantité de pulpe de 1 000 à 1 200 gr.

1° Sur 50 gr. de pulpe bien mélangée, on a fait le dosage de l'eau;

2° Sur 32^{gr},15 de même pulpe, on a dosé le sucre cristallisable par la digestion aqueuse à chaud et le polarimètre ;

3° Pour les carottes qui renferment du sucre cristallisable et du glucose, on a d'abord dosé ce dernier par la liqueur de Fehling et par pesée de l'oxyde de cuivre, puis, après interversion, on a dosé de même le total des deux sucres. L'extraction des sucres a été faite aussi par digestion aqueuse à chaud sur la pulpe fraîche ;

4° Tout le reste de la pulpe a été desséché complètement à l'étuve, puis la matière sèche a été moulue et enfermée dans des flacons biens bouchés pour servir aux autres dosages.

Dosage des matières azotées. — Il n'est plus possible aujourd'hui, dans l'analyse des fourrages, de se borner à déterminer

en bloc les matières azotées, par le dosage de l'azote total et en faisant jouer le multiplicateur 6,25. Dans le cas qui nous occupe, il convient de distinguer dans l'ensemble de matières azotées d'abord le nitrate de potasse, sel qui peut s'emmagasiner dans les racines et qui non seulement n'est pas alimentaire, mais encore est purgatif à faible dose. Dans les substances organiques azotées, il faut également séparer les albuminoïdes qui sont réellement alimentaires, des amides et des corps amidés et autres qui ne peuvent servir à la constitution des tissus.

Dans chacun de nos échantillons, nous avons donc dosé ces trois groupes de substances azotées.

Pour le dosage du nitrate de potasse, nous avons suivi le procédé suivant, indiqué par Berthelot : « La matière sèche est traitée par l'alcool à 60 p. 100, qui dissout les azotates et coagule les matières albuminoïdes. La matière dissoute est évaporée au bain-marie, puis passée à l'appareil de Schlœsing pour y doser l'acide azotique en le transformant en bioxyde d'azote dont on mesure le volume. » Il convient ici de recueillir le bioxyde d'azote sur une dissolution de soude, car il se produit un peu d'acide carbonique qui empêcherait de saisir facilement la fin de l'opération. Après avoir mesuré le gaz sur l'eau, on le fait absorber par une solution saturée de sulfate de fer, et on retranche du volume primitif celui du résidu. En opérant de la même manière avec une solution titrée de nitrate, et en s'arrangeant pour obtenir des volumes de gaz voisins, on calcule très exactement l'azote nitrique.

Le dosage de l'azote organique total exige la destruction préalable des nitrates, car ceux-ci seraient en partie réduits à l'état d'ammoniaque et fausseraient les résultats. Cette destruction a lieu en faisant bouillir la substance avec un peu de sulfate de fer et d'acide sulfurique étendu, dans un ballon d'attaque. Quand le volume est réduit d'au moins moitié, on transforme l'azote organique en ammoniaque par le procédé Kjeldahl-Gunning, puis on dose l'ammoniaque par la méthode de Boussingault.

Pour doser les matières albuminoïdes, nous avons eu recours à la méthode acétique employée par M. Joulie dans son beau travail sur la « Production fourragère par les engrais » et décrite dans la

dernière édition de l'*Analyse des matières agricoles* de M. Grandeau.

Quant à l'azote des amides, etc., il a été calculé par différence.

Nous avons admis que les albuminoïdes de la betterave renferment 16 p. 100 d'azote et adopté le coefficient 6,25 pour passer de l'azote à la substance azotée. Pour les substances non albuminoïdes, nous les avons calculées en asparagine, en multipliant l'azote orrespondant par 5,36.

Le dosage de matières grasses a été exécuté par la méthode de Draggendorf, en employant l'éther de pétrole distillant à 45° comme dissolvant.

Le dosage de la cellulose a été fait en suivant le procédé de M. Müntz, qui donne de la cellulose exempte de pentosanes, comme nous nous en sommes assuré en opérant sur le son du froment.

Les pentosanes ont été déterminées par la méthode de Councler, en précipitant le furfurol, obtenu par la distillation de la matière avec de l'acide chlorhydrique, à 1,06 de densité, à l'aide de la phloroglucine. Le précipité, recueilli sur un filtre taré, séché à 100°, est pesé. En multipliant son poids par 0,953, on a celui des pentosanes. Ce multiplicateur suppose que dans la betterave il existe à la fois de l'arabane et de la xylane.

Les deux tableaux suivants résument les résultats de nos analyses. Pour chaque variété et pour chaque espacement, nous avons réuni les analyses des lots avec et sans nitrates. Chaque nombre est donc la moyenne de deux dosages.

Semis à 0m,45. — Composition immédiate des racines.

ÉLÉMENTS DOSÉS.		CAROTTES		BETTERAVES								
		blanche des Vosges.	blanche à collet vert.	à sucre Klein-Wanzleben.	à sucre à collet rose.	à sucre à collet vert.	géante blanche demi-sucrière.	disette Mammouth.	jaune géante de Vauriac.	globe à petites feuilles.	jaune ovoïde des Barres.	disette corne-de-bœuf.
Eau	p. 100.	88.02	89.80	81.00	81.50	82.00	89.00	90.65	90.00	89.00	91.06	86.87
Matières organiques. . . .	—	10.07	9.06	18.00	17.54	16.90	9.90	8 40	8.90	9 95	7.94	12.00
Cendres.	—	1.01	1.14	1.00	0.96	1.10	1.10	0.96	1.10	1.05	1.00	1.13
Matières albuminoïdes . . .	—	0.79	0.75	0.58	0.83	0.65	0.47	0.39	0.68	0.58	0.52	0.77
— azotées diverses. .	—	0.70	0.53	0.59	0.76	0.54	0.45	0.34	0.53	0.50	0.53	0.54
— — totales. . .	—	1.49	1.28	1.17	1.59	1.19	0.92	0.73	1.21	1.08	1 05	1.31
Graisse.	—	0.07	0.05	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
Sucre	—	2.32	1.57	13.00	12.80	13.00	6.80	4.70	4.40	6.70	4 00	7.15
Glucose.	—	1.63	1.85	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Pentosanes	—	1.21	1.17	2.13	1.90	1.63	0.99	0.79	0.93	0.90	0.80	1.37
Cellulose	—	1.37	1.15	0.99	1.10	0.83	0.66	0.56	0.87	0.64	0.66	0.97
Matières non dosées. . . .	—	2.61	2.00	0.70	0.12	0.22	0.52	1.61	1.47	0 62	1.41	1.18
Nitrate de potasse		0,007	0,007	»	0,008	0,003	0,029	0,034	0,038	0,018	0,082	0,02
Poids moyen des racines récoltées, kilogr.		0,333	0,310	0,482	0,542	0,463	0,661	0,573	0,851	0,540	0,656	0,532
— — analysées,	—	0,313	0,324	0,541	0,505	0,455	0,633	0,586	0,892	0,510	0,707	0,604

Semis à 0m,90. — Composition immédiate des racines.

ÉLÉMENTS DOSÉS.		CAROTTES		BETTERAVES								
		blanche des Vosges.	blanche à collet vert.	à sucre Klein-Wanzleben.	à sucre à collet rose.	à sucre à collet vert.	géante blanche demi-sucrière.	disette Mammouth.	jaune géante de Vauriac.	globe à petites feuilles.	jaune ovoïde des Barres.	disette corne-de-bœuf.
Eau	p. 100.	90.03	90.57	84.10	84.94	84.20	91.20	90.30	91.31	90.10	92.92	90.77
Matières organiques	—	8.76	8.35	14.80	13.97	14.70	7.70	8.70	7.64	8.60	6.03	8.10
Cendres	—	1.21	1.08	1.10	1.08	1.10	1.10	1.00	1.05	1.30	1.05	1.13
Matières albuminoïdes	—	0.68	0.70	0.84	0.84	0.83	0.61	0.60	0.59	0.91	0.59	0.72
— azotées diverses	—	0.62	0.62	0.77	0.69	0.79	0.56	0.62	0.57	0.70	0.56	0.65
— — totales	—	1.30	1.32	1.61	1.53	1.62	1.17	1.22	1.16	1.61	1.15	1.37
Graisse	—	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02
Sucre	—	1.16	1.87	9.60	9.50	10.05	3.65	4.35	3 20	4.65	2.60	4.60
Glucose	—	1.91	1.51	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Pentosanes	—	0.83	1.00	1.72	1.37	1.54	0.89	0.93	0.82	0.99	0.72	1.00
Cellulose	—	1.21	1.27	1.08	0.86	0.82	0.67	0.75	0.80	0.91	0.39	0.90
Matières non dosées	—	2.29	1.34	0.76	0.67	0.64	1.30	1.44	1.65	0.42	1.14	0.21
Nitrate de potasse		0,025	0,033	0,017	0,036	0,018	0,065	0,067	0,097	0,029	0,078	0,045
Poids moyen des racines récoltées,	kilogr.	0,427	0,398	1,233	1,498	1,262	1,834	1,584	1,990	1,700	2,133	1,555
— — analysées,	—	0,447	0,371	1,173	1,461	1,277	1,687	1,592	1,721	1,521	1,930	1,287

La comparaison des analyses précédentes nous montre que par la culture serrée les racines ont gagné une quantité notable de matière organique. Pour les carottes, le gain est en moyenne de 1.83 p. 100, ce qui correspond à 15.4 p. 100 de la teneur des racines cultivées à 90 centimètres. En ce qui concerne les betteraves à sucre, l'accroissement moyen de la matière organique s'élève à 2.99 p. 100, soit à 20.6 p. 100 de ce que renferment les grosses betteraves. Enfin, pour les betteraves fourragères, le gain moyen atteint 1.71 p. 100, ou 22 p. 100 du minimum moyen. Une seule exception existe à cette règle quand on compare séparément chaque variété dans les deux procédés de culture, pour la Mammouth.

Si l'on compare les dosages moyens des substances azotées dans les trois catégories de racines, on constate en général, pour les betteraves, une petite diminution en passant de la culture à grandes distances à la culture serrée, et cela est vrai pour les matières azotées albuminoïdes comme pour les substances azotées diverses. Pour les carottes, il y a au contraire une très faible augmentation des albuminoïdes. Dans la comparaison détaillée des variétés, il y a beaucoup plus d'irrégularités que pour la matière sèche. Avec les betteraves à sucre, le gain d'albuminoïdes pour le grand espacement est de 22 p. 100; il est de 17 p. 100 avec les betteraves fourragères; le gain pour les carottes est de 10 p. 100.

Les variations de la graisse, qui existe en si faible quantité, n'ont aucune importance. Il n'en est pas de même de celles du sucre.

Dans tous les cas, les racines serrées sont plus riches que celles qui ont végété à grandes distances. C'est pour les carottes que l'accroissement est le plus faible : il n'est que de 14.3 p. 100 du minimum moyen. Pour les betteraves à sucre, le gain moyen est de 3.06 p. 100 de racines, ce qui correspond à 31 p. 100 du minimum moyen. Enfin, avec les betteraves fourragères, l'augmentation du dosage de sucre est de 1.78 p. 100 de racines, soit de 46.3 p. 100 par rapport à la teneur des plantes cultivées à 90 centimètres. Cette constatation n'est pas nouvelle. Il est depuis longtemps démontré

que pour obtenir des betteraves riches en sucre, il faut serrer les plants autant que possible. Comme le sucre est l'aliment hydrocarboné le plus efficace après la graisse, il est urgent d'appliquer à la culture de la betterave fourragère la même règle qu'à celle de la betterave à sucre, car c'est par l'accroissement de la richesse des racines en sucre qu'on peut le plus accroître leur valeur nutritive.

Les pentosanes sont des hydrates de carbone de la formule $C^5 H^8 O^4$, qui se transforment par hydrolyse en sucres cristallisables infermentescibles appelés pentoses. On en connaît actuellement deux : l'arabane, origine de l'arabinose ; et la xylane, qui fournit la xylose. Ce sont des substances gommeuses confondues dans les anciennes analyses avec les extractifs non azotés et la cellulose brute. M. Müntz les avait dosées séparément, croyons-nous, sous le nom de cellulose saccharifiable. Elles se distinguent nettement des hydrates de carbone en C^6 (sucres, glucoses, substances amylacées) par leur propriété de se transformer en furfurol quand on les fait bouillir avec l'acide chlorhydrique à 12 p. 100. Dans la betterave, il existe très probablement un mélange des deux pentosanes connues. Ces hydrates de carbone peuvent-ils servir à la nutrition ? C'est très probable, car, comme nous le verrons, ils peuvent être en grande partie digérés et ne se retrouvent qu'à l'état de trace dans les urines.

La culture serrée a eu pour résultat un petit accroissement de la dose des pentosanes dans les racines. Il a été de 0.28 p. 100 de racines avec les carottes, de 0.34 avec les betteraves à sucre et de 0.07 avec les racines fourragères. Il n'y a eu d'exception que pour deux betteraves fourragères. Si l'on rapporte ces accroissements à la teneur des racines cultivées à grande distance égalée à 100, on obtient respectivement les proportions suivantes : 30.7 ; 22.1 ; 7.9.

Pour la cellulose les variations sont peu importantes, et dans des sens différents.

Si l'on se place au point de vue de la nature des variétés sucrières et fourragères et qu'on les compare avec les carottes, comme

nous l'avons fait dans le tableau suivant, où nous avons inscrit les moyennes de chaque groupe :

	CAROTTES fourragères.	BETTERAVES à sucre.	BETTERAVES fourragères.
Matières organiques	9.21	15.98	8.64
Substances albuminoïdes	0.73	0.75	0.62
Amides, etc.	0.61	0.69	0.54
Matières azotées totales	1.34	1.44	1.16
Graisse	0.05	0.03	0.015
Sucres	3.45	11.40	4.73
Pentosanes	1.05	1.71	0.92
Cellulose	1.25	0.94	0.72

on reconnaît que les races sucrières sont beaucoup plus riches que les racines des deux autres groupes en matières organiques et en sucre ; elles renferment aussi un peu plus d'albuminoïdes et de pentosanes. D'un autre côté, les carottes sont un peu plus riches que les betteraves fourragères en matières organiques totales, en albuminoïdes, en graisse, en pentosanes et cellulose, mais un peu plus pauvres en sucre.

Nous attachions un grand intérêt au dosage des nitrates dans nos racines. Nous donnons dans le tableau suivant tous les résultats que nous avons obtenus.

Nitrates (en milligrammes p. 100).

VARIÉTÉS.	SANS NITRATE.			AVEC NITRATE DE SOUDE.		
	0m,90.	0m,45.	Moyen.	0m,90.	0m,45.	Moyen.
Carotte blanche des Vosges	3.2	2.6	2.9	46.1	11.8	28.9
— à collet vert	46.0	8.6	27.3	20.0	6.2	13.1
Betterave Klein-Wanzleben	31.5	»	15.7	3.8	»	1.9
— à sucre collet rose	24.5	14.3	19.4	47.8	2.3	25.0
— — vert	32.0	2.1	17.0	4.2	3.7	3.9
— géante blanche demi-sucrière	53.4	18.1	35.7	78.0	40.0	59.0
— disette Mammouth	26.3	25.0	25.6	107.7	42.7	75.2
— jaune géante de Vauriac	45.5	71.0	58.2	150.0	4.4	77.2
— globe à petites feuilles	24.3	37.5	31.0	28.0	78.6	53.3
— jaune ovoïde des Barres	114.4	85.9	100.1	41.4	78.4	59.9
— corne-de-bœuf	70.0	25.0	47.5	21.0	16.5	18.7
MOYENNES	42.8	26.3	34.5	49.8	25.8	37.8

Il ressort de ces résultats :

1° Que l'addition par hectare de 200 kilogr. de nitrate de soude à la fumure n'a pas eu pour effet d'augmenter très sensiblement le taux du nitrate de potasse dans les racines ;

2° Que la plantation serrée a eu pour effet de diminuer fortement la teneur des racines en nitrate.

Teneur moyenne des racines à 90°	46.3
— à 45°	26.0
Différence . . .	20.3

L'abaissement du taux de nitrate atteint 43.84 p. 100.

3° Que les variétés sucrières (Klein-Wanzleben, à collet rose et à collet vert) renferment généralement moins de nitrate de potasse que les variétés fourragères ;

	SANS NITRATE de soude.			AVEC NITRATE de soude.		
	0m,90.	0m,45.	Moyennes.	0m,90.	0m,45.	Moyennes.
Variétés sucrières. .	29.3	5.5	17.4	18.6	2.0	10.2
— fourragères .	55.6	43.7	49.7	71.0	43.4	57.2
Carottes blanches. .	24.6	5.6	15.1	33.0	9.0	21.0

4° Que les carottes sont moins riches en nitrates que les betteraves fourragères, comme le montrent les moyennes du tableau de détail précédent ;

5° Au point de vue de la richesse moyenne en nitrate, les varitétés de betteraves se rangent dans l'ordre suivant :

	Milligrammes p. 100 ou grammes par quintal.
1. Ovoïde des Barres	80.0
2. Géante de Vauriac	67.7
3. Disette Mammouth	50.4
4. Géante blanche demi-sucrière. . . .	47.3
5. Globe à petites feuilles	42.1
6. Corne-de-bœuf.	33.1
7. Collet rose	22.2
8. Collet vert	10.4
9. Klein-Wanzleben.	8.8

III. — Rendements par hectare en éléments nutritifs.

Au point de vue pratique, la valeur relative des variétés cultivées, de même que celle des systèmes de culture, est fonction du rendement brut de racines à l'hectare et de la richesse en principes alimentaires de l'unité de poids de racines. Nous avons donc dans les deux tableaux suivants calculé, pour chaque variété, à chacun des deux espacements adoptés, le rendement à l'hectare en principes immédiats divers. Les résultats sont exprimés en quintaux métriques.

Dans un troisième tableau, extrait des précédents, nous avons totalisé pour chaque variété et chaque espacement les principales matières que nous considérons comme réellement nutritives, et nous avons fait ressortir les moyennes afférentes à chaque groupe, ainsi que les différences en faveur de la culture serrée. Nous n'avons pas considéré comme alimentaires les amides et autres substances azotées analogues, ni la cellulose, ni les indéterminées. Nous n'avons en effet aucune connaissance de l'action dans l'organisme des premières et des dernières ; et si la cellulose peut jouer un certain rôle, nous estimons qu'en prenant en compte toutes les pentosanes, nous établissons par là une compensation suffisante, comme nous espérons le montrer plus loin.

Semis à 0m,45. — Rendements à l'hectare.

ÉLÉMENTS DOSÉS.	CAROTTES		BETTERAVES								
	blanche des Vosges.	blanche à collet vert.	à sucre Klein-Wanzleben.	à sucre à collet rose.	à sucre à collet vert.	géante blanche demi-sucrière.	disette Mammouth.	jaune géante de Vauriac.	globe à petites feuilles.	jaune ovoïde des Barres.	disette corne-de-bœuf.
	quintaux	quintaux	quintaux	quintaux	quintaux	quintaux	quintaux	quintaux	quintaux	quintaux	quintaux
Eau	596,23	594,48	292,41	356,16	315,29	504,18	459,14	565,20	449,45	540,90	426,97
Matières organiques	72,33	59,98	64,98	76,65	64,98	56,08	42,55	55,89	50,25	47,16	58,98
Cendres	7,44	7,55	3,61	4,19	4,23	6,23	4,86	6,91	5,30	5,94	5,55
Matières albuminoïdes	5,34	4,96	2,09	3,63	2,50	2,66	1,97	4,28	2,93	3,09	3,78
— azotées diverses	4,73	3,51	2,13	3,32	2,08	2,55	1,72	3,33	2,52	3,15	2,65
— azotées totales	10,07	8,47	4,22	6,95	4,58	5,21	3,69	7,61	5,45	6,24	6,43
Graisse	0,47	0,33	0,07	0,13	0,13	0,06	0,05	0,13	0,05	0,06	0,098
Sucre	15,68	10,39	46,93	55,94	50,00	38,52	23,81	27,63	33,83	23,76	35,14
Glucose	11,02	12,25	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Pentosanes	8,18	7,75	7,69	8,30	6,27	5,61	4,00	5,84	4,55	4,75	6,73
Cellulose	9,26	7,61	3,57	4,81	3,19	3,74	2,83	5,46	3,23	3,92	4,76
Matières non dosées	17,64	13,24	2,53	0,52	0,85	2,95	8,15	9,23	3,13	8,38	5,80
Nitrate de potasse	0,047	0,046	»	0,035	0,012	0,165	0,172	0,24	0,091	0,487	0,098

Semis à 0m,90. — Rendements à l'hectare.

ÉLÉMENTS DOSÉS.	CAROTTES		BETTERAVES								
	blanche des Vosges.	blanche à collet vert.	à sucre Klein-Wanzleben.	à sucre à collet rose.	à sucre à collet vert.	géante blanche demi-sucrière.	disette Mammouth.	jaune géante de Vauriac.	globe à petites feuilles.	jaune ovoïde des Barres.	disette corne-de-bœuf.
	quintaux	quintaux	quintaux	quintaux	quintaux	quintaux	quintaux	quintaux	quintaux	quintaux	quintaux
Eau	437,55	466,44	257,35	344,00	288,38	425,00	381,97	437,37	399,14	449,73	363,99
Matières organiques	42,57	43,00	45,29	56,58	50,35	35,88	36,80	36,60	38,09	29,19	32,48
Cendres	5,88	5,56	3,36	4,42	3,76	5,12	4,23	5,03	5,77	5,08	4,53
Matières albuminoïdes	3,30	3,60	2,57	3,40	2,84	2,84	2,54	2,84	4,03	2,86	2,89
— azotées diverses	3,04	3,19	2,36	2,79	2,70	2,61	2,62	2,72	3,10	2,71	2,60
— azotées totales	6,34	6,79	4,93	6,19	5,54	5,45	5,16	5,56	7,13	5,57	5,49
Graisse	0,29	0,21	0,09	0,12	0,10	0,017	0,042	0,048	0,09	0,14	0,08
Sucre	5,64	9,63	29,38	38,47	34,42	17,00	18,40	15,33	20,60	12,58	18,45
Glucose	9,28	7,78	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Pentosanes	4,03	5,15	5,26	5,55	5,27	4,15	3,93	3,93	4,39	3,48	4,01
Cellulose	5,88	6,54	3,30	3,48	2,81	3,12	3,17	3,83	4,03	1,89	3.61
Matières non dosées	11,13	6,90	2,33	2,71	2,19	6,06	6,09	7,90	1,86	5,52	0,84
Nitrate de potasse	0,1215	0,17	0,052	0,146	0,061	0,303	0,283	0,465	0,128	0,378	0,18

Matières nutritives par hectare.

(Somme : albuminoïdes, graisses, sucres, pentosanes.)

VARIÉTÉS.	A 0m,90.		A 0m,45.		DIFFÉRENCE.	
	kilogr.		kilogr.		kilogr.	
Carotte blanche des Vosges. . . .	2 254		4 079		1 825	
— collet vert	2 637		3 568		931	
MOYENNES.	2 445		3 823		1 738	
Betterave à sucre Klein-Wanzleben.	3 730		5 678		1 948	
— à collet rose . .	4 754	4 249	6 800	6 122	2 046	1 873
— à colet vert (Brabant)	4 263		5 889		1 426	
Betterave blanche demi-sucrière . .	2 401		4 684		2 280	
— disette Mammouth . . .	2 451		2 983		532	
— jaune géante de Vauriac .	2 235		3 788		1 553	
— globe à petites feuilles. .	2 911	2 408	4 136	3 887	1 225	1 479
— jaune ovoïde des Barres.	1 906		3 166		1 260	
— disette corne-de-bœuf . .	2 543		4 565		2 022	
MOYENNES.	3 021		4 632		2 611	

En considérant la troisième colonne du dernier tableau, on remarque que, sans exception, la culture à rangs serrés a augmenté dans une grande proportion la production en éléments nutritifs par hectare. Pour les carottes, l'accroissement est en moyenne de 1 378 kilogr. par hectare et correspond à 56.4 p. 100 du produit des mêmes plantes cultivées à grande distance.

Avec les betteraves à sucre, l'augmentation de rendement en matières nutritives est de 1 873 kilogr., soit de 44.1 p. 100 du produit des racines cultivées à grand espacement.

Enfin, avec les races fourragères, nous obtenons en moyenne par hectare 1 479 kilogr. de matières alimentaires en plus en serrant la culture, ce qui correspond à 60.1 p. 100.

L'importance de ces accroissements de rendement démontre bien clairement l'immense avantage qu'il y a à cultiver les racines fourragères d'après les mêmes procédés culturaux que les racines saccharigènes. Il faut absolument serrer les plants pour obtenir des racines petites et riches. La culture à grands espacements, si elle

produit des racines énormes qui flattent l'œil, ne donne que des résultats trompeurs. On récolte de l'eau surtout, et l'on a plus de frais relativement pour la conservation et l'emmagasinage.

Mais notre tableau récapitulatif n'est pas seulement instructif relativement au mode de culture, il fait ressortir d'une manière lumineuse la valeur relative des différents groupes des racines et des diverses variétés dans chaque groupe.

Les races sucrières de betteraves fournissent beaucoup plus de substances nutritives par hectare que les carottes et les betteraves fourragères. Elles ont en effet donné en moyenne 5 185 kilogr. d'éléments nutritifs, contre 3 134 avec les carottes et 3 147 kilogr. avec les betteraves fourragères, ce qui correspond à une surproduction de 2 051 et 2 038 kilogr. ou 65 p. 100.

Parmi les variétés sucrières, c'est la betterave à collet rose qui s'est montrée la plus avantageuse, avec une production moyenne de 5 777 kilogr. de substances alimentaires; la variété à collet vert, race Brabant, vient ensuite, avec un rendement utile de 5 076 kilogr. La Klein-Wanzleben vient la troisième et donne 4 700 kilogr.

Dans le groupe fourrager, nous trouvons en première ligne la Disette corne-de-bœuf (3 554 kilogr.) avec la géante blanche demi-sucrière (3 544 kilogr.) et la globe à petites feuilles (3 523 kilogr.). La géante de Vauriac vient ensuite avec un produit moyen de 3 012 kilogr. Enfin la Disette Mammouth (2 717 kilogr.) et la trop répandue Ovoïde des Barres (2 536 kilogr.) ferment la marche.

Entre cette dernière et la betterave à collet rose, il y a un écart en faveur de celle-ci de **227.8 p. 100**. Tout commentaire ne pourrait qu'affaiblir une telle constatation.

IV. — Expériences d'alimentation.

Pendant l'hiver qui a suivi la récolte du champ d'expériences, M. Oscar Benoist a voulu se rendre compte de la valeur relative des grosses et des petites betteraves obtenues. Ne pouvant multiplier ses essais, il s'est borné à expérimenter avec la variété Jaune ovoïde des Barres. Il y a joint un essai sur les carottes pour comparer leur puissance nutritive à celle des betteraves fourragères.

Il a constitué, le 22 novembre 1897, trois lots de 5 jeunes moutons chacun, aussi comparables que possible, auxquels il distribua chaque jour une ration identique de foin de luzerne et de tourteaux, et un poids identique de racines, soit grosses betteraves, soit petites betteraves, soit carottes, comme l'indique le tableau suivant :

NUMÉROS des lots.	LUZERNE.	TOURTEAU.	BETTERAVES grosses.	BETTERAVES petites.	CAROTTES.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
1	2,5	1,5	»	»	29
2	2,5	1,5	»	29	»
3	2,5	1,5	29	»	»

L'expérience a duré du 22 novembre au 22 février, la marche de l'engraissement et les résultats obtenus sont consignés ci-après :

	LOTS 1.	LOTS 2.	LOTS 3.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Poids au 22 novembre 1897	162,0	161,5	161,5
— au 22 décembre 1897	197,0	197,0	189,0
— au 22 janvier 1898	218,0	215,5	201,0
— au 22 février 1898	240,5	235,5	221,0
Viande nette à l'abatage.	127,0	124,0	114,0
Rendement net p. 100 de poids vif . .	52,8	52,6	51,6
Gain total de poids vif	78,5	74,0	59,5
Gain de viande net.	46,0	43,0	33,0

Pour calculer le gain de viande nette, nous avons admis qu'avant l'engraissement les trois lots en auraient fourni chacun 81 kilogr., à raison de 50 p. 100 du poids vif, ce qui paraît être un peu exagéré.

Les animaux ont été vendus sur la base de 1 fr. 90 c. le kilogramme net. L'accroissement de valeur de chaque lot pendant l'engraissement a donc été :

Pour le lot n° 1 de.	87f,40c
— n° 2 de.	81 ,70
— n° 3 de.	62 ,70

Si nous égalons à 100 la valeur produite par le lot n° 3, qui a consommé les grosses betteraves ovoïdes des Barres, le lot n° 2 a

produit 130. Cet accroissement de 30 p. 100 de la production ne peut être imputé qu'à la plus grande valeur alimentaire des petites racines. Quant aux carottes, elles atteignent 139, et sont donc un peu plus nutritives que les petites ovoïdes.

En partant de ces expériences, nous pouvons calculer les valeurs relatives des trois sortes de racines consommées.

Estimons le foin de luzerne à 6 fr. les 100 kilogr. et les tourteaux à 16 fr. le quintal à la ferme. La ration commune journalière a coûté :

2^{kg},50 de luzerne	0^{f};15^{c}
1 ,50 de tourteaux	0 ,24
Total. . .	0^{f},39^{c}

et pour la durée totale de l'expérience (92 jours), la dépense a atteint 35 fr. 88 c. pour chaque lot.

En retranchant cette dépense constante du produit total, nous aurons, pour chaque cas, la valeur donnée par nos moutons à la quantité de racines absorbées.

LOTS.	PRODUIT.	VALEUR DE LA RATION		OBSERVATIONS.
		fixe.	de racines.	
1 . . .	87,40	35,88	51,52	Carottes.
2 . . .	81,70	35,88	45,82	Petites ovoïdes.
3 . . .	62,70	35,88	26,82	Grosses ovoïdes.

Comme la quantité des racines consommées pendant les essais, à raison de 29 kilogr. par jour, a atteint pour chaque lot 2668 kilogr., la tonne de racines a été payée pour nos moutons aux prix suivants :

Carottes.	19^{f},31^{c}
Petites ovoïdes	17 ,17
Grosses ovoïdes.	10 ,05

La valeur produite par hectare cultivé a atteint :

Avec la carotte (moyenne 58^{t},4)	1 128^{f},70^{c}
Avec les ovoïdes à petites distances (59^{t},4)	969 ,40
Avec les ovoïdes à grandes distances (48^{t},4).	486 ,42

Nous ne pouvions pas espérer une confirmation pratique plus éclatante des conclusions de nos expériences.

V. — Digestibilité de la betterave corne-de-bœuf.

a) *Semis à 0m,45, avec nitrate.*

Après avoir reçu pendant quelques jours, comme nourriture exclusive, de la betterave corne-de-bœuf pour déterminer la quantité journalière de racine qu'il pouvait consommer, le lapin a été pendant sept jours, du 23 au 30 novembre inclusivement, soumis à l'expérience.

Il pesait au début de l'essai 2kg,50 et à la fin 2kg,60. — Il a donc gagné un hectogramme de poids vif.

Sa consommation totale en racines a été de 3kg,775 pendant les 7 jours, soit de 555 gr. par vingt-quatre heures.

Il a produit en tout 43 gr. d'excréments solides, soit 6gr,14 par jour.

La betterave et les excréments analysés ont présenté la composition suivante :

	BETTERAVE.	EXCRÉMENTS solides.
	—	—
Eau	85.7	54.6
Matières organiques	11.3	35.6
Cendres[1]	1.2	9.8
Matières albuminoïdes[2]	0.76	5.69
Amides, etc.[3]	0.62	0.80
Sucres	6.80	0.70
Pentosanes	1.40	8.40
Cellulose	1.00	8.30
Substances indéterminées	0.60	11.71
1. Acide phosphorique	0.128	2.31
2. Azote albuminoïde	0.122	0.91
3. Azote amidé, etc.	0.115	0.15

Le lapin soumis à l'expérience a donc, par journée moyenne, consommé et rendu sous forme de crottins les quantités de principes immédiats relatés dans le tableau suivant, où nous avons fait figurer

les quantités de substances nutritives digérées et les coefficients de digestibilité qui découlent de l'essai :

	TENEUR de la ration.	TENEUR des crottins.	SUBSTANCES digérées.	COEFFICIENT de digestibilité.
	—	—	—	—
	gr.	gr.	gr.	
Matières organiques. .	62,7	2,2	60,5	96.0
Cendres	6,7	0,6	6,1	91.0
Albuminoïdes	4,22	0,35	3,87	91.7
Amides, etc..	3,44	0,04	3,40	98.8
Sucres	37,70	»	37,70	100.0
Pentosanes	7,80	0,50	7,30	93.0
Cellulose	5,50	0,50	5,00	90.0
Indéterminées	3,33	0,72	2,61	78.0
Acide phosphorique . .	0,71	0,14	0,57	80.0

Il résulte de ce qui précède qu'il y a, dans 100 kilogr. de betteraves, les quantités suivantes d'éléments nutritifs :

Albuminoïdes digestibles . . .	$0^{kg},697$	
Sucre.	6 ,800	Hydrates de carbone : 9,470.
Pentosanes digestibles	1 ,302	
Cellulose	0 ,900	
Indéterminées	0 ,468	
Total des matières nutritives.	$10^{kg},167$	

b) *Semis à $0^{m},90$, avec nitrate.*

Après avoir été nourri avec de petites racines, le lapin en reçut de grosses, du 30 novembre au 10 décembre 1897. Il a consommé pendant cette période 5 kilogr. de racines, soit 500 gr. par vingt-quatre heures ; sa production en excréments s'est élevée en tout à 123 gr., ce qui fait une moyenne de $12^{gr},3$ par jour.

Il pesait au début $2^{kg},60$ et à la fin de l'essai $2^{kg},46$ seulement. Il a donc perdu 140 gr. en 10 jours, tandis qu'avec les petites betteraves, il avait gagné 100 gr. en 7 jours.

La betterave et les excréments analysés ont présenté la composition suivante :

	BETTERAVE.	CROTTINS.
Eau	91.42	54.70
Matières organiques	7.44	34.65
Cendres[1]	1.14	10.65
Albuminoïdes[2]	0.81	7.25
Amides, etc.[3]	0.66	0.54
Sucres	3.80	1.36
Pentosanes	1.00	5.57
Cellulose	0.93	9.49
Substances indéterminées	0.24	10.44
1. Acide phosphorique	0.115	1.81
2. Azote albuminoïde	0.129	1.16
3. Azote amidé, etc.	0.124	0.10

Le lapin d'essai a donc consommé par jour moyen et rendu sous forme d'excréments solides les quantités de principes immédiats qui figurent dans le tableau ci-après, où nous en avons déduit les quantités digérées et les coefficients de digestibilité.

	TENEUR de la ration.	TENEUR des crottins.	SUBSTANCES digérées.	COEFFICIENT de digestibilité.
	gr.	gr.	gr.	
Matières organiques	37,20	4.26	32,94	88.5
Cendres	5,70	1,30	4,40	77.1
Albuminoïdes	4,05	0,89	3,16	78.0
Amides, etc.	3,30	0,07	3,23	97.0
Sucres	19,00	0,16	18,84	99.2
Pentosanes	5,00	0,68	4,32	86.4
Cellulose	4,65	1,17	3,48	74.8
Indéterminées	1,20	1,28	»	»
Acide phosphorique	0,575	0,223	0,352	61.0

Dans 100 kilogr. de betteraves grosses il y a donc les quantités suivantes d'éléments nutritifs :

Albuminoïdes digestibles	$0^{kg},63$	
Sucres digestibles	3 ,80	Hydrates de carbone : 5,35.
Pentosanes digestibles	0 ,86	
Cellulose digestible	0 ,69	
Total des éléments nutritifs	$5^{kg},98$	

c) *Comparaison des résultats.*

Tandis que le lapin a pu digérer par jour 60^{gr},5 de matières organiques en consommant les petites betteraves, il n'a pu, avec le régime des grosses racines à volonté, en digérer que 32^{gr},94. Il a donc été dans le deuxième cas beaucoup moins nourri que dans le premier et il en est résulté une perte de poids vif de 14 gr. par jour. La grosse betterave donnée seule *ad libitum* est donc incapable de satisfaire aux besoins de l'animal à l'entretien, tandis qu'au contraire la petite constitue une nourriture suffisante, puisqu'elle a provoqué dans l'essai une augmentation de poids vif de 14^{gr},3 par jour moyen.

Si l'on compare les coefficients de digestibilité des substances nutritives, on constate qu'ils sont généralement plus élevés pour les petites racines que pour les grosses. Et enfin, on est frappé de la supériorité des petites betteraves corne-de-bœuf qui contiennent, à poids égal, 70 p. 100 d'éléments digestibles de plus que les grosses.

VI. — Digestibilité de la betterave à sucre Klein-Wanzleben.

a) *Semis à 0^{m},45, avec nitrate.*

L'expérience relative à la détermination de la digestibilité de la betterave Klein-Wanzleben, semée à 45 centimètres, a duré 9 jours, du 27 décembre 1897 au 4 janvier 1898. Le lapin pesait au début 2^{kg},63 et à la fin 2^{kg},66 ; son poids est donc resté à peu près constant. Sa consommation totale en betteraves a été de 3^{kg},760, soit par journée moyenne de 416 gr. La production des éléments solides s'est élevée à 97 gr., soit 10^{gr},7 par jour moyen.

La betterave et les excréments solides analysés ont présenté la composition suivante :

	BETTERAVES.	EXCRÉMENTS solides.
	—	—
Eau	81.3	54.4
Matières organiques	17.8	33.0
Cendres[1]	0.9	12.6
Matières albuminoïdes[2]	0.76	8 50
Amides, etc.[3]	0.67	1.39
Sucres	12.50	1.41
Pentosanes	2.37	3.47
Cellulose	1.19	6.50
Substances indéterminées	0.31	11.73
1. Acide phosphorique	0.166	1.75
2. Azote albuminoïde	0.122	1.36
3. Azote des amides, etc.	0.125	1.62

Le lapin soumis à l'essai a donc consommé en moyenne par vingt-quatre heures, et rendu sous forme d'excréments solides les quantités de principes immédiats relatés dans le tableau suivant, où figurent également les quantités d'éléments digérés et les coefficients de digestibilité.

	CONTENU de la ration.	EXCRÉMENTS solides.	SUBSTANCES digérées.	COEFFICIENTS de digestibilité.
	—	—	—	—
	gr.	gr.	gr.	
Matières organiques	74,05	3,53	70,52	95.2
Cendres	3,74	1,55	2,39	63.9
Albuminoïdes	3,16	0,91	2,25	71.2
Amides, etc.	2,79	0,15	2,64	94.6
Sucres	52,00	0,15	51,85	99.7
Pentosanes	9,86	0,37	9,49	96.2
Cellulose	4,95	0,70	4,25	85.9
Indéterminées	1,29	1,25	0,04	»
Acide phosphorique	0,690	0,187	0,503	73.0

De ce qui précède, il résulte qu'il y a dans 100 kilogr. de betteraves les quantités d'éléments nutritifs ci-après consignées :

Albuminoïdes digestibles	$0^{kg},541$	
Sucre digestible	12 ,500	Hydrates de carbone : 15,802.
Pentosanes digestibles	2 ,280	
Cellulose digestible	1 ,022	
Substances nutritives totales digestibles	$16^{kg},343$	

b) *Semis à 0m,90, avec nitrate.*

Sur le même animal, nous avons, du 18 au 25 décembre 1897, soit pendant huit jours, étudié la digestibilité de la betterave à sucre Klein Wanzleben, semée à l'écartement de 90 centimètres entre les lignes.

Le lapin, qui pesait au début 2kg,675, ne pesait à la fin que 2kg,630. Il a donc fait une perte de poids de 45 gr. Sa consommation totale ayant été de 3kg,150 de racines, sa ration moyenne journalière a atteint 450 gr. Il a produit, d'autre part, 151 gr. d'excréments solides, soit 21gr,58 par jour.

La betterave et les excréments solides analysés ont présenté la composition suivante :

	BETTERAVES K.-W.	EXCRÉMENTS solides.
	—	—
Eau	82.9	55.0
Matières organiques	16.0	34.2
Cendres[1]	1.1	10.8
Matières albuminoïdes[2]	1.22	10.06
Amides, etc.[3]	0.93	1.50
Sucres	10.30	1.70
Pentosanes	1.80	3.30
Cellulose	1.40	7.30
Substances indéterminées	0.35	10.34
1. Acide phosphorique	0.137	1.65
2. Azote albuminoïde	0.196	1.61
3. Azote des amides, etc.	0.174	0.28

Le lapin en expérience a donc absorbé en moyenne par jour et rendu sous forme d'excréments solides les quantités de principes immédiats consignées dans le tableau suivant, où nous avons fait figurer en regard les quantités d'aliments digérés et les coefficients de digestibilité :

	CONTENU de la ration.	EXCRÉMENTS solides.	SUBSTANCES digérées.	COEFFICIENTS de digestibilité.
	—	—	—	—
	gr.	gr.	gr.	
Matières organiques	71,00	7,40	64,6	95.3
Cendres	5,00	2,30	2,7	54.0
Albuminoïdes	5,49	2,17	3,32	60.47
Amides, etc.	4,18	0,32	3,86	92.35
Sucres	46,30	0,30	46,00	99.3
Pentosanes	8,10	0,70	7,40	91.3
Cellulose	6,30	1,60	4,70	74.6
Indéterminées	1,58	2,22	»	»
Acide phosphorique	0,62	0,35	0,27	43.5

Il résulte des faits précédents que 100 kilogr. de grosses betteraves Klein-Wanzleben renferment les quantités suivantes d'éléments nutritifs :

Albuminoïdes digestibles	$0^{kg},74$	
Sucres digestibles.	10 ,30	Hydrates de carbone : 12,98.
Pentosanes digestibles.	1 ,64	
Cellulose digestible	1 ,04	
Substances nutritives totales .	$13^{kg},72$	

c) *Betterave Klein-Wanzleben (à $0^{m},45$ avec nitrate) et son.*

Du 17 au 27 janvier 1898, nous avons essayé sur notre lapin la digestibilité d'une ration composée de betterave et de son de froment. L'animal, qui pesait au début 3 kilogr., ne pesait plus à la fin que $2^{kg},9$. Il avait perdu 100 gr. de poids vif.

Sa consommation totale a été de 341 gr. de son, soit de 34 gr. par jour, et de 2 445 gr. de betterave, ou $244^{gr},5$ par journée moyenne.

Sa production en excréments a été au total de 340 gr., soit, par jour moyen, de 34 gr.

Les aliments consommés et les excréments solides avaient la composition suivante :

	SON.	BETTERAVES.	EXCRÉMENTS.
	—	—	—
Eau	8.0	81.3	53.00
Matières organiques	85.8	17.8	39.94
Cendres[1]	6.2	0.9	7.06
Albuminoïdes[2]	13.00	0.76	5.87
Amides, etc.[3]	2.46	0.67	1.01
Sucres	1.60	12.50	1.26
Amidon	16.00	»	»
Pentosanes.	25.30	2.37	10.61
Cellulose	4.90	1.19	6.11
Indéterminées	22.54	0.31	15.08
1. Acide phosphorique . . .	3.47	0.166	2.64
2. Azote albuminoïde. . . .	2.08	0.122	0.94
3. Azote des amides, etc.. .	0.46	0.125	0.19

Dans le tableau suivant, nous avons calculé les quantités de prin-

cipes immédiats que le lapin a ingérées et excrétées pendant une journée moyenne, ainsi que les quantités digérés, et les coefficients de digestibilité de la ration mixte.

	CONTENU de la ration journalière.			CONTENU des excréments.	SUBSTANCES digérées.	COEFFICIENTS de digestibilité.
	Son.	Betteraves.	Total.			
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	
Matières organiques	29,17	42,43	72,60	13,60	59,00	81.2
Cendres	2,11	4,31	6,42	2,40	4,02	62.6
Albuminoïdes	0,42	1,86	6,28	1,99	4,29	68.3
Amides, etc.	0,83	1,64	2,47	0,34	2,13	86.2
Sucres	0,54	30,50	31,04	0,42	30,62	98.6
Amidon	5,41	»	5,41	»	5,41	100.0
Pentosanes	8,60	5,79	14,39	3,61	10,78	74.9
Cellulose	1,67	2,90	4,57	2,08	2,49	54.5
Indéterminées	7,66	0,76	8,42	5,12	3,30	39.2
Acide phosphorique	1,18	0,405	1,585	0,90	0,685	43.0

Pour nous rendre compte de la question de savoir si la consommation simultanée des betteraves et du son avait modifié la digestibilité des premières, nous avions fait un essai direct pour déterminer la digestibilité du même son.

VII. — Digestibilité du son de froment.

Le 10 novembre 1897, nous avons soumis notre lapin au régime exclusif du son. Du 16 au 20 inclus nous avons déterminé exactement la quantité de son consommée et recueilli les excréments solides produits. L'animal pesait $2^{kg},46$ au début et $2^{kg},67$ à la fin de l'essai.

La consommation totale pendant les 5 jours qu'a duré l'expérience a atteint 330 gr., soit 66 gr. par jour moyen.

Les excréments solides produits pendant le même laps de temps pesaient 200 gr., ou 40 gr. par jour moyen.

Le son et les excréments analysés présentaient la composition suivante :

	SON.	EXCRÉMENTS solides.
	—	—
Eau	8.0	38.0
Matières organiques	85.8	54.7
Cendres[1]	6.2	7.3
Matières albuminoïdes[2]	13.00	6.75
Amides, etc.[3]	2.46	1.5
Sucres	1.60	0.1
Amidon	16.00	»
Pentosanes	25.30	19.0
Cellulose	4.90	8.8
Substances indéterminées	22.54	19.65
1. Acide phosphorique	3.47	3.80
2. Azote albuminoïde	2.08	1.08
3. Azote des amides, etc.	0.46	0.28

Par journée moyenne, l'animal soumis à l'expérience a donc consommé et rejeté les quantités de principes immédiats consignées dans le tableau suivant, où nous avons fait ressortir parallèlement les quantités de substances nutritives digérées et les coefficients de digestibilité :

	TENEUR de la ration.	TENEUR des excréments solides.	SUBSTANCES digérées	COEFFICIENT de digestibilité.
	—	—	—	—
	gr.	gr.	gr.	
Matières organiques	56,60	21,90	34,70	61.3
Cendres	4,10	2,90	1,20	29.3
Albuminoïdes	8,58	2,70	5,88	68.5
Amides, etc.	1,62	0,60	1,02	63.0
Sucres	1,00	»	1,00	100.0
Amidon	10,50	»	10,50	100.0
Pentosanes	16,70	7,60	9,10	54.4
Cellulose	3,20	3,50	»	»
Indéterminées	14,87	7,68	7,19	48.3
Acide phosphorique	2,30	1,50	0,80	34.7

Il résulte de cet essai que le son employé renfermait les proportions suivantes d'élements nutritifs pour 100 en poids :

Albuminoïdes digestibles	$8^{kg},9$	
Substances amylacées et sucrées	17 ,6	Hydrates de carbone : 40,7.
Pentosanes digestibles	12 ,3	
Indéterminées	10 ,8	
Total	$49^{kg},6$	

Si, à l'aide des coefficients de digestibilité déterminés directement sur la betterave et sur le son employés, nous calculons les quantités d'éléments absorbés dans le régime mixte, et si nous comparons les résultats ainsi calculés avec ceux fournis par l'expérience directe, nous serons renseignés sur les variations qui auraient pu se produire.

Le tableau suivant donne les résultats de nos calculs, rapprochés des données de l'expérience :

	SON.	BETTERAVES.	TOTAL.	ESSAI DIRECT.
Matières organiques .	17.88	41.34	59.22	59.00
Cendres	0.62	1.40	2.02	1.91
Albuminoïdes	3.03	1.32	4.35	4.29
Amides	0.52	1.55	2.07	2.13
Sucre.	0.54	30.40	30.94	30.62
Amidon	5.41	»	5.41	5.41
Pentosanes.	4.68	5.55	10.23	10.78
Cellulose.	»	2.49	2.49	2.49
Indéterminées. . . .	3.70	»	3.70	3.30
Acide phosphorique .	0.40	0.29	0.69	0.68

La comparaison des nombres inscrits dans les deux dernières colonnes fait ressortir nettement que la digestibilité du son et de la betterave consommés en mélange est restée très sensiblement la même que lorsque les éléments étaient administrés séparément. Les petites différences que l'on constate rentrent dans les limites des erreurs inévitables dans de telles expériences. Elles seraient plus grandes que les résultats obtenus dans l'essai du régime mixte n'en confirmeraient pas moins ceux que nous ont fournis les essais entrepris sur les mêmes aliments pris isolément.

d) *Betterave Klein-Wanzleben (à 0^{m},90, avec nitrate) et pain.*

Nous avons fait une nouvelle expérience en faisant consommer de la betterave Klein-Wanzleben (à 90 centimètres avec nitrate) et du pain. Elle a duré du 15 au 24 février, soit 9 jours. La consommation totale s'est élevée à 534 gr. de pain, ou 59^{gr},3 par jour ; celle de la betterave a atteint en somme 2 463 gr. ou par journée 273 gr. Le lapin a produit 133 gr. de crottes en tout, soit 14^{gr},8 par jour.

Les aliments consommés et les excréments solides ont présenté la composition suivante :

	BETTERAVE K.-W. à 90 cent.	PAIN.	EXCRÉMENTS solides.
Eau	82.90	25.00	47.0
Matières organiques	16.00	74.00	41.8
Cendres[1]	1.10	1.00	11.2
Albuminoïdes[2]	1.22	9.20	12.37
Amides[3]	0.93	»	1.60
Sucres	10.30	0.34	1.99
Amidon	»	62.40	»
Pentosanes	1.80	2.08	3.86
Cellulose	1.40	»	15.76
Indéterminées	0.35	»	6.02
1. Acide phosphorique	0.137	0.48	1.92
2. Azote albuminoïde	0.196	1.47	1.98
3. Azote amide, etc	0.174	»	0.30

Nous avons réuni dans le tableau suivant la composition de la ration journalière, des excréments correspondants, et nous avons placé en regard les quantités de principes immédiats digérés et les coefficients de digestibilité.

	CONTENU de la ration.			Dans les EXCRÉMENTS solides.	SUBSTANCES digérées.	COEFFICIENT de digestibilité.
	Betterave.	Pain.	Total.			
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	
Matières organiques	43,27	43,88	87,15	6,19	80,96	92.9
Cendres	3,14	0,59	3,73	1,66	2,07	55.4
Albuminoïdes	3,33	5,45	8,78	1,83	6,95	79.1
Amides, etc.	2,54	»	2,54	0,24	2,30	90.5
Sucres	28,12	0,18	28,30	0,26	28,04	99.1
Amidon	»	37,00	37,00	»	37,00	100.0
Pentosanes	4,91	1,23	6,14	0,57	5,57	90.7
Cellulose	3,83	»	3,83	2,33	1,50	39.1
Indéterminées	0,95	»	0,95	0,89	0,06	»
Acide phosphorique	0,37	0,28	0,65	0,28	0,37	56.9

En partant des coefficients obtenus directement pour la betterave,

nous pouvons calculer approximativement ceux relatifs au pain. Les résultats de nos calculs sont consignés ci-après :

	SUBSTANCES digérées totales.	SUBSTANCES digérées.		COEFFICIENT du pain.
		Betterave.	Pain.	
	gr.	gr.	gr.	
Matières organiques .	80,96	41,23	39,73	90.5
Cendres	2,07	1,69	0,38	64.4
Albuminoïdes	6,95	2,01	4,91	90.6
Amides, etc.	2,30	2,34	»	»
Sucres	28,04	28,12	»	»
Amidon	37,00	»	37,00	100.0
Pentosanes.	5,57	4,48	1,09	88.6
Cellulose.	1,50	2,85	»	»
Indéterminées. . . .	0,06	»	»	»
Acide phosphorique .	0,37	0,16	0,21	76.0

Si l'on observe que, dans cette détermination par différence, les erreurs possibles peuvent dépasser largement 5 p. 100, on constate que, d'après cet essai, le lapin utilise presque entièrement les principes immédiats du pain. En rapprochant ces coefficients de digestibilité de ceux obtenus pour le son, on reconnaît que l'utilisation de ce dernier est sensiblement moins élevée. Le coefficient est inférieur de 29 p. 100 pour les matières organiques, de 22 p. 100 pour les albuminoïdes, de 34 p. 100 pour les pentosanes et de 41 p. 100 pour l'acide phosphorique.

VIII. — Conclusions.

Nous avons réuni dans le tableau suivant les coefficients de digestibilité obtenus dans les expériences précédentes :

TABLEAU.

	CORNE-de-bœuf		KLEIN-Wanzleben		SON de froment.	PAIN blanc.	BETTE-RAVE et son.	BETTE-RAVE et pain.
	à 0m,45.	à 0m,90.	à 0m,45.	à 0m,90.				
Matières organiques. .	96.0	88.5	95.2	95.3	61.3	90.5	81.2	92.9
Cendres.	91.0	77.1	63.9	54.0	29.3	64.4	62.6	55.4
Albuminoïdes	91.7	78.0	71.2	60.5	68.5	90.6	68.3	79.1
Amides, etc.	98.8	97.0	94.6	92.3	63.0	»	86.2	90.5
Sucres	100.0	99.2	99.7	99.3	100.0	»	98.6	99.1
Amidon.	»	»	»	»	100.0	100.0	100.0	100.0
Pentosanes	93.0	86.4	96.2	91.3	54.4	88.6	74.9	90.7
Cellulose	90.0	74.8	85.9	74.6	»	»	54.5	39.1
Indéterminées	78.0	»	»	»	48.3	»	39.2	»
Acide phosphorique. .	80.0	61.0	73.0	43.5	34.7	7.60	43.0	56.9

Un coup d'œil général sur ces résultats fait reconnaître tout d'abord que l'amidon et le sucre sont entièrement absorbés.

La digestibilité des pentosanes est très élevée dans les racines et dans le pain. Elle baisse beaucoup dans le son.

La cellulose des racines est facilement digérée et en proportion élevée. Celle du son ne l'est pas.

L'acide phosphorique des racines est plus digestible que celui du son, et ce dernier l'est moins que celui du pain.

Les matières azotées non albuminoïdes (amides, etc., des tableaux) des racines sont absorbées en presque totalité. Celles du son de froment le sont moins facilement.

Les substances albuminoïdes, qui constituent la matière plastique par excellence, ont une digestibilité plus variable dans les betteraves, mais encore plus élevée que dans le son en moyenne.

Si nous ne considérons que les coefficients des betteraves, qui ont surtout pour nous de l'intérêt, nous constatons d'abord ce fait très important que les betteraves semées à grandes distances sont moins faciles à digérer que les betteraves cultivées en ordre serré. Le groupement des coefficients dans le tableau suivant le fait bien ressortir.

	EMIS SERRÉ (0m,45).			SEMIS à grandes distances (0m,90).		
	Corne-de-bœuf.	Klein-Warzleben.	Moyenne.	Corne-de-bœuf.	Klein Warzleben.	Moyenne.
	—	—	—	—	—	—
Albuminoïdes. . . .	91.7	71.2	81.4	78.0	60.5	69.2
Amides, etc.. . . .	98.8	94.6	96.7	97.0	92.3	94.6
Sucre.	100.0	99.7	99.8	99.2	99.3	99.2
Pentosanes.	93.0	96.2	94.6	86.4	91.3	88.8
Cellulose	90.0	85.9	87.9	74.8	74.6	74.4
Acide phosphorique .	80.0	73.0	76.5	61.0	43.5	52.2

L'avantage en faveur des petites betteraves est de 12 p. 100 pour les albuminoïdes, de près de 5 p. 100 pour les pentosanes, de 13.5 p. 100 pour la cellulose et de 24 p. 100 pour l'acide phosphorique.

En groupant les coefficients par variétés de betterave et en faisant la moyenne comme ci-dessous :

	CORNE-DE-BŒUF.	KLEIN-WANSLEBEN.
	—	—
Albuminoïdes	84.8	65.8
Amides, etc.	97.8	93.4
Sucre	99.6	99.5
Pentosanes	89.7	94.2
Cellulose	82.4	75.2
Acide phosphorique. . . .	70.5	58.2

on reconnaît que la corne-de-bœuf renferme des albuminoïdes plus digestibles que la Klein-Wanzleben. Il en est de même pour la cellulose et l'acide phosphorique, tandis que le contraire se remarque pour les pentosanes. Mais cette petite supériorité est largement compensée par la plus grande richesse centésimale de la dernière, et l'avantage lui reste même lorsque l'on compare les rendements en matières nutritives digestibles à l'hectare.

		ÉLÉMENTS NUTRITIFS digestibles	
		par quintal.	par hectare.
		—	—
		kilogr.	k'logr.
Betteraves corne-de-bœuf . .	Petites racines . .	10,16	5,415
	Grosses racines . .	5,98	2,464
	Moyennes	8,07	3,939
Betteraves Klein-Wanzleben .	Petites racines . .	16,34	5,915
	Grosses racines . .	13,72	4,280
	Moyennes	15,03	5,047
Excédent par hectare en faveur de la betterave Klein-Wanzleben			*1,108*

Dans l'étude chimique que nous avons faite pour toutes nos variétés cultivées, nous avons pris pour base de l'estimation de leur valeur alimentaire relative leur production globale à l'hectare en albuminoïdes, graisse, sucre et pentosanes. Ces rendements en substances nutritives pour les deux variétés ici considérées, qui ont été cultivées avec une addition complémentaire de 200 kilogr. de nitrate de soude, se sont élevés aux poids ci-après :

Corne-de-bœuf. . . .	Grosses racines	2 311 kilogr.
	Petites racines	4 775 —
	Moyennes	3 543 —
Klein-Wanzleben. . .	Grosses racines	3 996 —
	Petites racines	5 658 —
	Moyennes	4 827 —

Si l'on rapproche ces nombres de ceux du précédent tableau, on reconnaît qu'ils sont de même ordre. En prenant pour unité le produit alimentaire par hectare de la betterave corne-de-bœuf, la variété Klein-Wanzleben a, d'après nos expériences de digestibilité, une valeur relative de 1.3 et, d'après les sommes déduites de l'analyse simple, une valeur relative de 1.4.

En comparant de la même manière les grosses et les petites racines de chaque variété, on obtient les valeurs relatives suivantes :

	D'APRÈS	
	les expériences sur le lapin.	l'analyse.
	—	—
Grosse corne-de-bœuf	1	1
Petite corne-de-bœuf.	2.2	2.1
Grosse Klein-Wanzleben	1	1
Petite Klein-Wanzleben.	1.4	1.4

L'estimation que nous avons faite de la valeur agricole des variétés et des systèmes de culture, d'après les données de l'analyse immédiate, concorde donc d'une manière très suffisante avec celle qui est déduite des recherches que nous avons entreprises sur l'animal, et nos conclusions sont par là de nouveau confirmées.

NOTE SUR LA PRÉSENCE DES PENTOSANES DANS LES URINES

Dans les expériences de digestibilité sur le son et sur la betterave corne-de-bœuf, semée en lignes distantes de 45 centimètres avec nitrate de soude, nous avons réuni la totalité des urines émises par le lapin et nous y avons dosé les pentosanes. Les quantités trouvées dans la production journalière moyenne d'urines ont été les suivantes :

Betterave corne-de-bœuf.	$0^{gr},0098$
Son de froment	0 ,0074

Relativement aux quantités absorbées dans la ration, soit $7^{gr},3$ pour la betterave et $9^{gr},10$ pour le son, la teneur des urines en pentosanes ou dérivés (pentoses) est absolument négligeable ; elle est en moyenne de 1 millième de la quantité digérée.

NOTE SUR LES EXIGENCES ALIMENTAIRES DU LAPIN

Pendant la série d'expériences que nous avons faites sur le lapin, notre animal n'a que peu varié de poids. D'après les nombreuses pesées faites, son poids vif moyen a été de $2^{kg},6$. Les augmentations de poids qu'on a observées dans les pesées des dernières expériences sont dues uniquement au régime intermédiaire auquel on a soumis l'animal pour le reposer.

Le lapin a donc consommé, pendant les divers essais auxquels il a été soumis, à peu près exactement ce qui était nécessaire pour son entretien.

NATURE de la raion.	CORNE DE BŒUF		KLEIN WANZLEBEN				SON de froment.	MOYENNES.
	à 0m,45.	à 0m,90.	à 0m,45.	à 0m,90.	et son.	et pain.		
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Matières organiques . .	60,50	32,94	70,52	64,60	59,00	80.96	34,70	57,6
Albuminoïdes.	3,87	3,16	2,25	3,32	4,29	6,95	5,88	4,2
Sucre.	37,70	18,84	51,85	46,00	30,62	28,04	1,00	30,5
Amidon.	»	»	»	»	5,41	37,00	10,50	7,5
Pentosanes	7,30	4,32	9,49	7,40	10,78	5,57	9,10	7,7
Cellulose	5,00	3,48	4,25	4,70	2,49	1,50	»	3,0
Indéterminées	2,61	»	0,04	»	3,30	»	7,19	1,8
Acide phosphorique . .	0,57	0,35	0,50	0,27	0,68	0,37	0,80	0,5

Pour se maintenir sensiblement à poids constant, le lapin a donc consommé en moyenne $4^{gr},2$ d'albuminoïdes et $50^{gr},5$ de substances hydrocarbonées, avec un demi-gramme d'acide phosphorique, soit par kilogramme de poids vif :

Albuminoïdes.	$1^{gr},60$
Hydrates de carbone.	19 ,40
Acide phosphorique	0 ,19

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME PREMIER (1898)

Pages.

E. Henry. — Les forêts et les eaux souterraines dans les régions de plaines 1

E. Kayser et **G. Barba.** — Étude de quelques vins malades . . . 25

W. Newton. — L'origine du nitrate de soude au Chili 40

A. Girard. — Observations sur le rendement cultural et sur la teneur en fécule de plusieurs variétés de pommes de terre industrielles et fourragères 46

L. Grandeau. — Le nitrate de soude et le perchlorate de potasse. Remarques à propos de quelques insuccès dans la culture du seigle 84

M. Crispo. — Rapport sur les accidents provoqués par l'emploi du nitrate de soude au printemps 1896 92

M. G. Lechartier. — Douze années de culture de topinambours dans un même champ 121

G. Gastine. — Recherches sur la composition des terres de la Crau et des eaux et limons de la Durance 155

— Étude sur la composition des terres de la Camargue, la composition des sables du cordon littoral rhodanien, la nature du salant de la Camargue. 240

E. Fleurent. — Recherches sur la composition immédiate et élémentaire des matières albuminoïdes extraites du grain des céréales et des graines des légumineuses; conséquences pratiques de cette étude. 371

A. Livache. — Rapport sur le travail de M. E. Fleurent intitulé : *Recherches sur la composition immédiate et élémentaire des matières albuminoïdes extraites du grain des céréales et des graines des légumineuses; conséquences pratiques de cette étude* 418

C.-V. Garola. — Expériences sur l'amélioration de la culture des racines fourragères 422

Nancy, impr. Berger-Levrault et Cie.

New York Botanical Garden Library
3 5185 00258 6392